



Hydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hydrology and Water Resources Management



200 Jahre Hydrologie

Daten erfassen, speichern, analysieren, nutzen

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, A-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, F-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,
Bundesamt für Umwelt (BAFU), CH-Bern

Prof. Dr. Benedikt Toussaint,
Tausenstein

Prof. Dr. Stefan Uhlenbrook,
UNESCO-IHE Institute for Water Education, NL-Delft

Prof. Dr. Markus Weiler,
Universität Freiburg

Prof. Dr. Rolf Weingartner,
Universität Bern, CH-Bern

Themenheft 200 Jahre Hydrologie

Der zunehmende Bedarf an Trinkwasser, Brauchwasser für Gewerbe und Wirtschaft, der Transport von Gütern auf dem Wasser, Hochwasserschäden und die Einleitung von Abwasser in die Gewässer sorgten zu Beginn des 19. Jahrhunderts dafür, dass die Wassersituation immer mehr ins Bewusstsein der Menschen gelangte. Zum Schutz von Bevölkerung und Infrastruktur musste ein regulatives Instrument gefunden werden, mit dessen Hilfe über ein funktionierendes Messnetz Informationen erhoben und aufgezeichnet werden konnten.

Die „Pegelinstruktion“ aus dem Jahr 1810 des Wasserbauingenieurs Johann Albert Eytelwein beginnt mit der Anmerkung, dass der „Mangel an zuverlässigen und zweckmäßigen Beobachtungen und Nachrichten über die verschiedenen Wasserstände der vorzüglichsten Gewässer....es notwendig macht, dass an mehreren Orten Pegel, Wassermarker und Wassermarkpfähle errichtet und die Wasserstände ununterbrochen beobachtet werden“. Auch Angaben zu Wind, Regen, Schnee und Eisgang sollten erhoben werden. Hintergrund war der intensivierte Bau von Straßen und Brücken zu Beginn des 19. Jahrhunderts, der vergleichbare Kenntnisse der Wasserstände in Flüssen und Seen erforderlich machte. Der preußische Innenminister Friedrich Ferdinand Alexander Graf zu Dohna setzte mit seiner Unterschrift im Februar 1810 die erste Pegelinstruktion in Kraft, die für das gesamte Königreich Preußen Gültigkeit hatte. Hydrometrische Einrichtungen und Forschungen datieren allerdings wesentlich weiter zurück, man denke beispielsweise an die Nilometer oder die Ansätze von Leonardo da Vinci zur Erfassung des Durchflusses.

Das Themenheft „200 Jahre Hydrologie“ der HyWa möchte darstellen, wie sich im Laufe der letzten 200 Jahre die Anforderungen an Hydrometrie, Hydrologie und Wasserbewirtschaftung mit dem gesellschaftlichen Bedarf gewandelt haben, Wissen und Methoden vertieft und erweitert wurden. Hinzu kommt der Aspekt, dass bei neuen Entwicklungen und Planungen die Zeitachse, also die Nachhaltigkeit einer Maßnahme, berücksichtigt werden muss. Der Blick oder die Projektion in die Zukunft mittels Modellrechnungen basiert u.a. auf der Auseinandersetzung mit früheren Ereignissen und Entwicklungen sowie deren Auswirkungen. Grundlagen dafür sind lange Beobachtungsreihen von Wasserständen und klimatischen Verhältnissen, der Wasserqualität sowie die technische und sozioökonomische Entwicklung. Die Pegelinstruktionen des 19. Jahrhunderts sind Ausgangspunkt zur Nutzung wichtiger Informationen für aktuelle Bewirtschaftungsfragen.

Die Spannweite der Betrachtung der wissenschaftlichen Hydrologie und Wasserbewirtschaftung im vorliegenden Themenheft erstreckt sich von der frühen administrativen Ordnung über hydrologische Messverfahren, Nutzung historischer Hochwasseraufzeichnungen, der Entwicklung des operationellen hydrologischen Dienstes in Bayern bis hin zu Risikobetrachtungen und dem Wandel des Sicherheitsbedürfnis sowie der aktuellen integrierten Bewirtschaftung der Wasservorkommen. Dargestellt wird auch die Entwicklung der qualitativen Gewässeruntersuchungen, von Einzeluntersuchungen über fachübergreifende und überregionale Untersuchungskampagnen bis zur Etablierung von Messnetzen an Rhein und der Elbe.

G. Strigel

Inhalt | Contents

Fachartikel | Scientific reports

MathiasD eutsch

Anmerkungen zur Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert Remarks on the history of the Prussian gauging-system in the 19th Century	65
--	----

Albert Göttle, Michael Altmayer und Alfons Vogelbacher

Entwicklung und Aufgaben des gewässerkundlichen Dienstes in Bayern History and tasks of the Hydrological Service in Bavaria	75
--	----

UweG rünewald

Zur Nutzung und zum Nutzen historischer Hochwasseraufzeichnungen On the use of historical flood records	85
--	----

Erich J. Plate

Hydrologische Bemessungspraxis im Wandel der Zeiten Hydrological design practices in the course of time	93
--	----

AndreasS chumann

IWRM 2010 – Neue Anforderungen an die Hydrologie? IWRM 2010 – New challenges for hydrology?	105
--	-----

Daniel Schwandt, Mathias Deutsch und Martin Keller

Die Anfänge systematischer chemisch-physikalischer Gewässeruntersuchungen in den Flussgebieten von Elbe und Rhein – historische Situation, Akteure, Entwicklungsstränge The beginnings of systematic water quality investigations in the catchments of Elbe and Rhine – historical situation, protagonists, development lines	116
--	-----

Daniell . Vischer

Die Entwicklung der Abflussmesser vom treibenden Blatt zum Messflügel und wieder zurück The development of the current meters from the drifting leaf to the hydrometric spinner and back again	129
---	-----

Hydrologische Notizen | Hydrological notes

UN Wasserforum UN Water forum	138
Tagungsbericht Report on scientific event	141
Projektbericht Project report	143
Aktuelles Latest news	146
Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften Association for Hydrological Sciences	150

Nachrichten | News

Neue Publikationen New publications	150
Termine Events	151

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

Mathias Deutsch

Zur Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert

Remarks on the history of the Prussian water-level gauging system in the 19th century

Der Aufsatz gibt einen kurzen Rückblick auf die Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert. Anlass ist die Verabschiedung der ersten preußischen Pegelinstruktion vor 200 Jahren. Sie trat im Königreich Preußen am 13. Februar 1810 in Kraft und bildete bis zur Einführung einer neuen, überarbeiteten Pegelordnung im September 1871 eine wichtige gesetzliche Grundlage für alle Wasserbauverwaltungen in Preußen. Obwohl bereits vor dem Jahr 1810 an einzelnen Standorten in Preußen regelmäßige Pegelbeobachtungen durchgeführt wurden, kann der 13. Februar 1810 mit Recht als Geburtstag der preußischen Gewässerkunde bezeichnet werden.

Schlagwörter: Historische Hochwasserforschung, hydrologische Daten, Pegel, Pegelinstruktion

Motivated by the enactment of the first gauging instructions in Prussia 200 years ago, this article gives a short review on the history of the Prussian gauging system in the 19th century. It was implemented in the Kingdom of Prussia on February 13th, 1810 and used as the most important basis for all public hydrological engineering administrations. These instructions were practiced until a new regulation was adopted in September 1871. Even though gauging observations had been carried out before 1810 in many places, the date February 13th, 1810 may be described as the starting date of hydrological work in Prussia.

Keywords: Gauging instructions, hydrological data, research, water-level gauge

1 Zielstellung

Ziel des vorliegenden Aufsatzes ist es, einen kurzen Rückblick auf die Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert zu geben. Dabei werden in erster Linie administrative Vorgänge ab 1810 bis um 1885 im Mittelpunkt stehen. Technische Entwicklungen sowie weiterführende Darstellungen zur Beobachtungspraxis, zur Auswahl und Schulung der Beobachter usw. sind nicht Gegenstand dieser Betrachtungen.

Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung des preußischen Pegelwesens in diesem Zeitraum waren zwei Gesetze; die Pegelinstruktion vom 13. Februar 1810 sowie die Pegelverordnung vom 14. September 1871. Angesichts der Tatsache, dass sich im Februar 2010 das Inkrafttreten der ersten preußischen Pegelinstruktion zum zweihundertsten Male jährt, soll insbesondere dieses Dokument eingehender behandelt werden. Ferner wird im vorliegenden Beitrag auf weitere Vorschriften und Zirkulare eingegangen, die im Zusammenhang mit den o.g. Pegelverordnungen herausgegeben wurden. Anhand der Quellen wird unter anderem ersichtlich, welche Probleme bei der praktischen Umsetzung der Pegelordnungen auftraten. Abschließend wird der praktische Nutzen von historischen Forschungen zum Pegelwesen erläutert.

2 Einleitung

Für die erfolgreiche Umsetzung wasserbaulicher bzw. wasserwirtschaftlicher Maßnahmen sowie für gewässerkundliche Untersuchungen sind genaue Kenntnisse über die hydrologischen Größen „Wasserstand“ und „Abfluss“ eine unabdingbare Voraussetzung (LAWA 1997). Hierbei bilden die Wasserstands- bzw. Pegelmessungen die Grundlage hydrologischer Datenerfassungen, da alle anderen Werte wie beispielsweise Abflüsse, Strömungen, Geschwindigkeiten etc. mit ihnen in Beziehung stehen. Umso wichtiger ist es, dass die Wasserstandsmessungen genau und

nach einheitlichen Maßgaben durchgeführt werden. In der Bundesrepublik Deutschland regelt eine von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) herausgegebene Pegelvorschrift „wie Pegel an oberirdischen Gewässern zu errichten, zu betreiben, zu warten und wie die Beobachtungen durchzuführen und auszuwerten sind.“ (LAWA 1997).

Wie wasserhistorische Forschungen in Archiven und Bibliotheken ergaben, beinhalten die ersten gewässerkundlichen Vorschriften in Deutschland, welche zu Beginn des 19. Jahrhunderts erlassen wurden, die grundlegend gleichen Inhalte wie heutige Maßgaben. Im preußischen Staatsgebiet regelten bereits ab 1810 Instruktionen bzw. Vorschriften nicht nur die Einrichtung und den Betrieb von Pegeln, sondern auch die Durchführung von Messungen sowie die Dokumentation der Ergebnisse. Hintergrund für diese Instruktionen war die Erkenntnis über die Notwendigkeit regelmäßig erfasster Wasserstandsangaben als Grundlage für die Realisierung von wasserbaulichen Maßnahmen. Für ihre Arbeiten benötigten die Ingenieure sowohl im Binnenland als auch an der Küste genaue Daten über seltene, extreme Wasserstandshöhen. Dazu äußerte sich schon der aus Sande (Friesland) stammende Pionier des Deichbaus, der Siel- und Deichrichter Albert Brahms (1692–1758). In der Vorrede zu seinem Werk „Anfangs=Gruende der Deich= und Wasser=Baukunst“ ging er 1755 unter anderem auch auf die beim Deichbau nötigen Kenntnisse über außerordentlich hohe Wasserstände ein: „Wer an einem vorgegebenen Ort einen guten proportionirten Deich angeben will, der muß vor allen Dingen die Grösse und Force des anfallenden Gewässers an den vorgegebenen Ort gründlich kennen und wissen. Dieser Satz ist so klar, daß er von keinem Vernünftigen in Zweifel gezogen werden kann, und also keines fernern Beweises bedarf: Allein, woher kann man dieses wissen? Auf keine Weise anders, als durch angestellte Observationes, nicht nur von geringen oder mittelmäßigen sondern hauptsächlich von denen grössesten, stärksten und schädlichsten Fluthen.“ (BRAHMS 1755).

Die von Brahms erwähnten „*Observationes*“ der Wasserstände erfolgten im 18. Jahrhundert in Deutschland nur an einigen wenigen Fließgewässern. Zu nennen sind beispielsweise die von Christian Gottlieb Pötzsch (1732–1805) zunächst ab 1775 in Meissen und dann ab dem 1. Januar 1776 in Dresden durchgeführten regelmäßigen Pegelmessungen an der Elbe (FÜGNER 1990). Doch diese gewässerkundlichen Aktivitäten blieben eher Einzelfälle. Erst Anfang des 19. Jahrhunderts setzte ein Wandel ein (LANGE 1952). In Preußen sind die Arbeiten mit dem Namen Johann Albert Eytelwein (1764–1848) verknüpft; als Ingenieur und Staatsbeamter hatte er sich für die Einrichtung von Pegeln und darüber hinaus für die Schaffung einer gesetzlichen Grundlage des Pegelwesens eingesetzt (ECKOLDT 1965).

3 Die preußische Pegelinstruktion vom 13. Februar 1810

Am 13. Februar 1810 unterzeichnete der preußische Innenminister Friedrich Ferdinand Alexander Graf zu Dohna (1771–1831) die erste Pegelinstruktion, die Gültigkeit für das gesamte Königreich Preußen hatte. Von diesem Tag an bestand erstmals eine landesweit einheitliche Ordnung für die Einrichtung von Pegelstellen und für den ordnungsgemäßen Pegelbetrieb. Diese galt sowohl für neu anzulegende als auch für bereits bestehende Messpunkte. Maßgeblichen Anteil an der Ausarbeitung der Pegelinstruktion hatte der preußische Bauingenieur Johann Albert Eytelwein (s. Abb. 1), welcher seit 1809 in Berlin an der Spitze der preußischen Bauverwaltung (Oberbaudeputation) stand. Er war zugleich vortragender Rat im Ministerium für Handel und Gewerbe. Mit Recht wird Eytelwein heute zu den Klassikern des Wasserbaus und der Gewässerkunde in Deutschland gezählt (ECKOLDT 1965). Er hat nicht zuletzt durch seine Veröffentli-

chungen – unter anderem zur Hydraulik und zum Wasserbau – sowie durch seinen Einsatz für die planmäßige Berufsausbildung von Wasserbauingenieuren Maßstäbe gesetzt (vgl. u.a. EYTELWEIN 1800, 1801, EYTELWEIN & GILLY 1802). Des Weiteren setzte sich Eytelwein als Staatsbeamter, Wissenschaftler und Hochschullehrer dafür ein, dass im Bereich des Wasserbaus theoretische und praktische Aspekte zusammengeführt werden. Diesem Grundsatz folgte er auch bei der Ausarbeitung der ersten preußischen Pegelvorschrift.

Das primäre Ziel der Pegelinstruktion von 1810 bestand darin, „den Mangel an zuverlässigen und zweckmäßigen Beobachtungen und Nachrichten, über die verschiedenen Wasserstände der vorzüglichsten Gewässer in der Monarchie“ zu beheben (Anmerkung: dieses Zitat sowie alle weiteren Zitate aus der Pegelinstruktion von 1810 wurden entnommen aus: ECKOLDT 1965). Obwohl auch im Königreich Preußen schon Jahre zuvor an ausgewählten Fließgewässern und Küstenabschnitten Pegelbeobachtungen durchgeführt wurden, bestand insbesondere von Seiten der preußischen Bauverwaltungen ein ständig wachsender Bedarf an zuverlässigen, nach einheitlichen Grundsätzen erhobenen Daten. Im Einleitungstext zur Instruktion wird dazu ausgeführt, dass ohne zuverlässige Pegelangaben „keine Bauanlagen und Meliorationen an Strömen mit Sicherheit ausgeführt werden können“ (s. Abb. 2). Außerdem wurde von Seiten der Schifffahrt ab etwa 1800 mit Nachdruck gefordert, zukünftig mehr Pegel an den schiffbaren preußischen Flüssen aufzustellen. Die angezeigten Wasserstände würden nicht nur für die Bootsbesatzungen Orientierungspunkte bei der Fahrt darstellen, sondern die Pegel könnten, sofern sie an leicht einsehbaren Stellen angebracht sind, auch wichtige Richtmaße für die Beladung der sog. „Schiffsgefäße“ sein.

Die Pegelinstruktion vom 13. Februar 1810 umfasst neben dem Einleitungstext (s. Abb. 2) acht Paragraphen. Auf einzelne Paragraphen wird näher eingegangen.

Der Paragraph 1 der Instruktion erläutert das Vorgehen beim „Setzen neuer Pegel“, wobei an dieser Stelle anzumerken ist, dass die meisten, in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts genutzten Pegel in Preußen einfache Lattenpegel aus Eichenholz waren. Sofern es an einem Fluss oder Küstenabschnitt noch keinen Pegel gab, sollte ein sog. „Hauptpegel“ errichtet werden „dessen Stelle jedes Mal der Wasserbaudirektor anzuweisen hat, damit der Maßstab an einem Brückenpfeiler, Brückenjoche, an einem starken eingerammten Pfahle oder sonst an einem Orte dergestalt Lothrecht befestigt werde, damit solcher einen unverrückbaren Stand erhalte, zu allen Zeiten beobachtet werden könne und weder durch den Eisgang oder sonst auf eine Weise der Beschädigung ausgesetzt sei.“ Der Pegel sollte einen „in brandenburgischen Werkfuß und Zoll eingetheilten Maaßstab [haben]“. Er musste „vom niedrigsten bis zum höchsten Wasserpegel reichen, und der Nullpunkt desselben wird etwa 2 Fuß [ca. 63 cm] unter dem allerniedrigsten Wasserspiegel angenommen.“ Ferner wird im Paragraphen 1 darauf verwiesen, dass immer auf eine korrekte Nivellierung des Pegelnullpunktes zu achten ist. Hierzu heißt es: „Wird ein Pegel durch irgend einen Umstand beschädigt oder vernichtet, so verlieren die vielfährigen Beobachtungen ihren Wert, wenn man nicht den verlorenen Nullpunkt desselben wieder auffinden kann. Es muß daher, sobald der Pegel gesetzt ist, durch ein Nivellement ausgemittelt werden, wie tief der Nullpunkt desselben unter irgend einem ent-

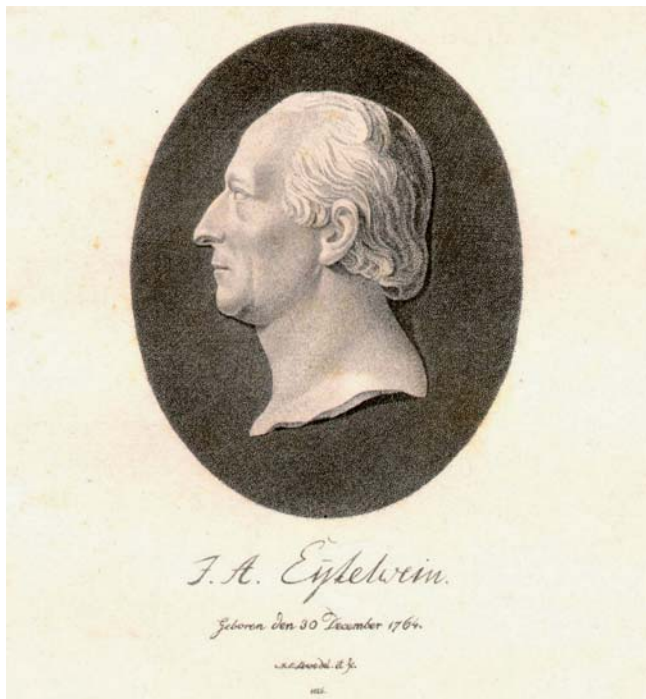


Abbildung 1
Portrait des preußischen Bauingenieurs Johann Albert Eytelwein (1764–1848) (Quelle: Porträtsammlung, Universitätsbibliothek der Humboldt-Universität Berlin)
Portrait of the Prussian civil engineer Johann Albert Eytelwein (1764–1848)

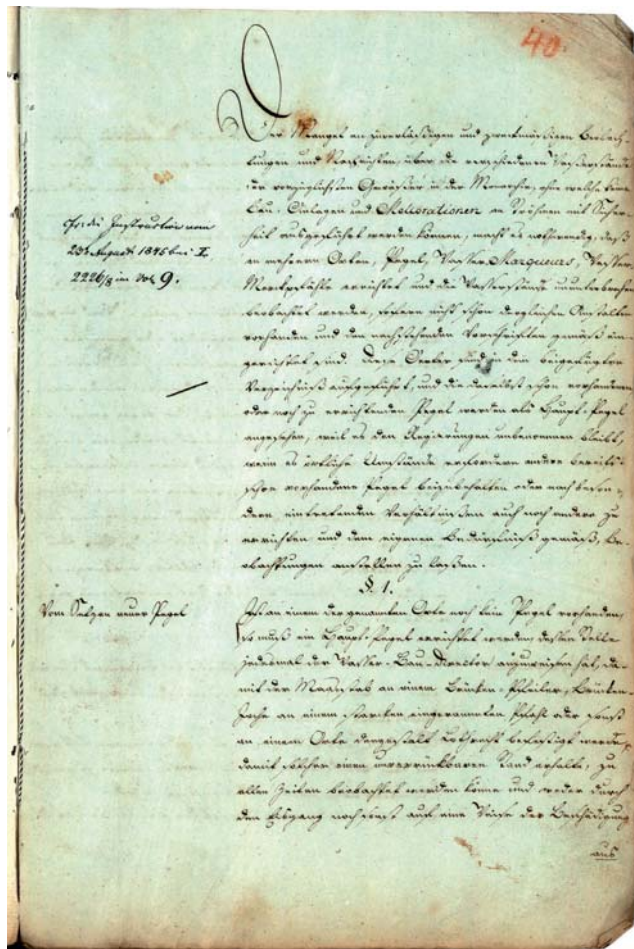


Abbildung 2

Erste Seite der preußischen Pegelinstruktion vom 13. Februar 1810, von der es offensichtlich nur handschriftliche Exemplare, aber keine Druckfassungen gibt (Quelle: Brandenburgisches Landeshauptarchiv Potsdam, Rep. 2A Regierung Potsdam I LW Nr. 1548, Bl. 40)

First page of the Prussian water-level gauging instruction of February 13th, 1810; that supposedly exists only in handwritten copies

fernten unverrückbar festen Punkt liege, etwa von einem bestimmten Punkte eines massiven Stadt-tors, einer massiven Kirche u. dgl. [dergleichen]. Diese Ausmittlung muß in den Oberbaudeputations- und Regierungsakten aufbewahrt werden, damit hiernach zu jeder Zeit ein verlorener Pegel wieder ersetzt werden kann.“

Im Paragraph 2 wird auf die Frage der „Berichtigung vorhandener Pegel“ eingegangen. Diesbezüglich wurde festgelegt, dass bei den in Preußen bereits bestehenden Pegeln zu überprüfen sei, ob die auf der Pegellatte eingetragenen Maße mit dem brandenburgischen Fußmaß übereinstimmen. Sollte das nicht der Fall sein, „so muß der Maßstab abgenommen und berichtigt werden.“ Bei diesen Arbeiten war insbesondere darauf zu achten, dass „der alte Nullpunkt des Pegels wenigstens etwa zwei Fuß unter dem niedrigsten Wasserspiegel liege.“ Ausdrücklich wurde im Paragraph 2 darauf hingewiesen, jegliche Änderungen an einem Pegel zu protokol-

lieren. Dabei war unter anderem „die Lage seines Nullpunktes gegen den neu anzunehmenden Nullpunkt“ zu vermerken.

Auf das Setzen von Pegeln an Mühlenanlagen, Schleusen, Wehren usw. ging der Paragraph 3 ein. Es wurde gefordert, „sowohl im Ober- als auch im Unterwasser“ einen Pegel aufzustellen. Zur Festlegung der Nullpunkte heißt es weiter: „Bei der Bestimmung der Nullpunkte dieser Pegel ist darauf zu achten, daß beide Punkte in einerlei Horizontlage liegen, daß solche wenigstens zwei Fuß unter dem kleinsten Unterwasser stehen, und daß die Oberkante des Fachbaums im Mühlengerinne oder des Drempels im Oberhaupte einer Schleuse genau mit irgend einem ganzen Fuß des Pegels in einerlei Horizontale falle.“ Abschließend wurde nochmals darauf hingewiesen, die bereits vorhandenen Pegel an Mühlen, Wehren usw. auf das o.g. einheitliche Maß (brandenburgischen Werkfuß) umzustellen.

Festlegungen zur Durchführung der Wasserstandsbeobachtung, zur Datendokumentation sowie zur Einsendung der Beobachtungsergebnisse finden sich in der Instruktion in den Paragraphen 4 und 5 („Beobachtung der Wasserstände“ / „Einsendung der Beobachtungen“). Die Beobachter waren unter anderem verpflichtet, den Wasserstand am Pegel täglich „zu einer bestimmten Stunde“ abzulesen. Das heißt, eine genaue Vorgabe der täglichen Ablesezeit erfolgte nicht. Wie das Studium alter Pegellisten zum Beispiel im Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abteilung Merseburg, immer wieder zeigt, lagen die Beobachtungszeiten in der Regel zwischen 12 und 13 Uhr. Die Ergebnisse der Pegelmessungen sollten in Tabellen eingetragen werden, wobei für jeden Monat eine separate Tabelle anzulegen war. Die Form der Tabelle wurde in der Instruktion genau vorgegeben (s. Abb. 3). Sie musste je eine Spalte für den Monat, den Tag und den Wasserstand (in Fuß und Zoll) ausweisen. Darüber hinaus sollten auch noch Spalten angelegt werden, in denen die Beobachter täglich Angaben zur Witterung einzutragen hatten. Laut Instruktion bestand die ausdrückliche Pflicht, Notizen zur Windrichtung, zum Niederschlag und zum Gewässerzustand (hier: „Eisgang oder Eisstand“) vorzunehmen. Eine letzte Spalte war für

M o n a t <i>Juli</i>						
Tag.	Wasser-stand.		Richtung des W i n d e s.	Regen oder S n e e.	Eisgang oder Eisstand.	B e m e r k u n g e n.
	Fuss.	Zoll.				
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						

Abbildung 3

Ausschnitt aus einer Pegeltabelle, die nach Vorlage der preußischen Pegelinstruktion von 1810 (Paragraph 4) erstellt wurde (Quelle: Thüringer Talsperren- und gewässerkundliches Archiv, Pegelakten, Unstrut-Brückenpegel Schönewerda, 1816 ff., ohne Signatur)
Detail of a gauge record according to the Prussian water-level gauging instructions of 1810 (paragraph 4)

ergänzende Anmerkungen vorgesehen. Bei der Durchsicht umfangreicher Pegelakten aus der Provinz Sachsen konnte festgestellt werden, dass in der Rubrik „Anmerkungen“ vor allem für den Zeitraum ab etwa 1818 bis um 1860 viele weiterführende Witterungsangaben in den Tabellen eingetragen waren (z. B. „in der Nacht ungestümes Wetter“ oder „zum Abend hin starkes Gewitter mit Regenguß“ usw.). Die Abbildung 3 zeigt als Beispiel eine preußische Pegeltabelle für den Juli 1816. Das Formular wurde für die täglichen Beobachtungen am Brückenpegel der Unstrut bei Schönewerda in Thüringen vorbereitet, blieb aber dann aus nicht näher bekannten Gründen ungenutzt.

Die Tabellen waren von den Pegelbeobachtern mit Sorgfalt zu führen. Am Monatsende musste dem zuständigen Wasserbaudirektor eine Abschrift vorgelegt werden. Dieser wiederum hatte die Pflicht, nochmals Duplikate anzufertigen, wobei ein Exemplar an die preußische Oberbaudeputation zu senden war.

Auch der Paragraph 6 („Von den Wasserstandsscalen“) beinhaltet Vorschriften zur Datendokumentation. Laut Instruktion musste jeder Wasserbaudirektor am Jahresende sog. „Wasserstandsscalen“ für alle Pegel seines Dienstbezirks anfertigen lassen. Dabei handelt es sich um Graphiken, die nach genauen Vorgaben erstellt wurden und die täglichen Wasserstände des abgelaufenen Jahres in Form einer Ganglinie zeigten. Interessant ist, dass in der Instruktion von 1810 zusätzlich farbliche Kennzeichnungen gefordert wurden: „Das Wasser ist blau, der Eisgang und Eisstand aber grün anzulegen.“ Ein Beispiel für die graphische Umsetzung von Pegelwerten eines Jahres zeigt die Abbildung 4. Noch heute beeindruckt die im Original relativ selten auffindbaren Dokumente durch ihre Genauigkeit und sorgfältige graphische Ausführung.

Die letzten zwei Paragraphen der Pegelinstruktion legen Schritte fest, wie die neue Vorschrift in die Praxis umzusetzen ist. Im Rahmen dieses Beitrages kann darauf nicht näher eingegangen werden. Erwähnenswert ist jedoch eine Anmerkung, die sich im Paragraph 8 findet und aufzeigt, dass die obersten preußischen Staatsbehörden bereit waren, „in zweifelhaften Fällen“ zu helfen und bei Bedarf „nähere Bestimmungen“ zu erlassen.

Insgesamt betrachtet handelt es sich bei der ersten preußischen Pegelinstruktion vom 13. Februar 1810 um eine Verordnung, die von großer Fachkenntnis geprägt ist und sich in der Folgezeit in der Praxis bewährte. Sie stellte für mehr als 60 Jahre eine außerordentlich wichtige Arbeitsgrundlage für die zuständigen Wasserbauverwaltungen in den preußischen Provinzen dar. Zudem wirkt sich die Pegelvorschrift von 1810, wie ECKOLDT in einem Aufsatz über den Ingenieur Johann Albert Eytelwein ausführte, „noch heute in dem Beginn des ohne größere Lücken vorhandenen Beobachtungsmaterials vieler Pegel aus.“ (ECKOLDT 1965). LANGE bemerkte mit Blick auf die ab etwa 1811/ 1815 in immer größerer Anzahl vorliegenden Pegelreihen: „Der Wert besteht nicht nur darin, dass sie den langjährigen Gang der Wasserstände und wichtige, auf die Wasserstände einwirkende Erscheinungen, so im Osten namentlich die Eiserscheinungen, überliefern, sondern auch darin, dass sie Anhaltspunkte dafür geben, wie sich die Abflussverhältnisse unserer Ströme und Flüsse in langen Zeiträumen durch natürliche Vorgänge und künstliche Massnahmen geändert, an der Küste auch, wie sich dort säkulare Bewegungen ausgewirkt haben.“ (LANGE 1952).

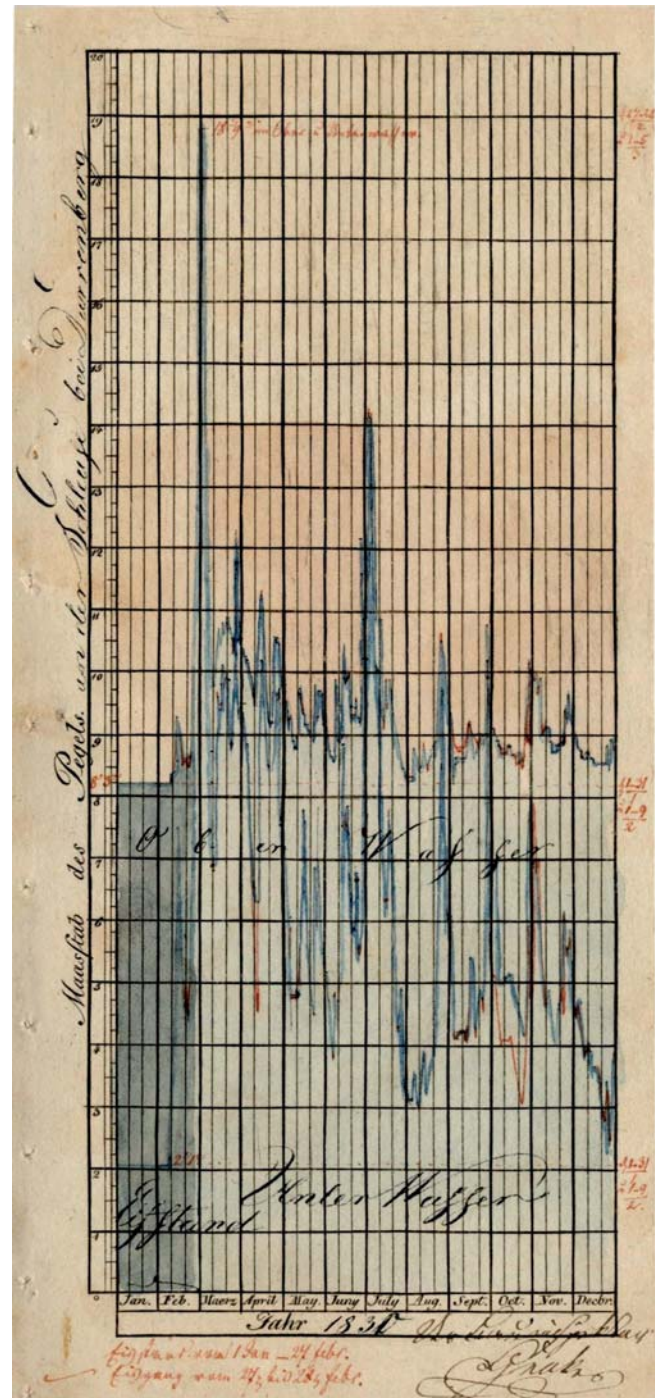


Abbildung 4
Graphische Darstellung der Wasserstände der Saale im Jahr 1830 am Schleusenpegel Dürrenberg (Quelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Dienstarchiv, Pegelakten Saale, ohne Signatur)
Graphic chart of the water levels of the River Saale in 1830, measured at the gauge station of the ship lock Dürrenberg

4 Die preußische Pegelinstruktion vom 14. September 1871

Folgt man zahlreichen Akteneinträgen sowie Protokollen aus der Zeit zwischen 1820 und ca. 1850, äußerten sich verschiedene preußische Beamte lobend über die Pegelinstruktion und bezeichneten sie als „wohl nützlich“. Vor allem seit Beginn der 20er

Instruktion über die Beobachtung und Zusammenstellung der Wasserstände an den Hauptpegeln.

§. 1. Alle Hauptpegel, an welchen die Wasserstände bisher schon regelmäßig beobachtet sind, behalten unverändert ihre Höhe. Sollte sich ergeben, daß an einzelnen derselben die Wasserspiegel zu Zeiten unter den Nullpunkt herabsinken, so ist das Maas abwärts zu verlängern, damit auch die Höhen unter Null genau abgelesen werden können.

§. 2. Für Erhaltung der Festpunkte, mit welchen die Pegel verglichen werden, ist möglichst Sorge zu tragen. Diese Festpunkte müssen so scharf bezeichnet sein, daß ihre Höhe bis auf eine Linie oder 2 Millimeter sicher sei. Wo diese Schärfe jetzt nicht mehr stattfindet, ist der wahrscheinliche Werth ihrer Höhe zu ermitteln und eine neue Bezeichnung oder ein neuer Festpunkt zu wählen, der aber durch sorgfältiges Nivellement an den früheren angeschlossen werden muß.

Die Wahl eines neuen Festpunktes ist kurz, aber deutlich und bestimmt zu registriren und die Registratur nebst Situations- und Nivellements-Zeichnung durch die königliche Regierung mir einzureichen.

Abbildung 5

Erste Seite der preußischen Pegelinstruktion vom 14. September 1871 (CIRKULAR 1871)

First page of the Prussian water-level gauging instructions of September 14th, 1871

Jahre des 19. Jahrhunderts war es gelungen, an den schiffbaren preußischen Flüssen sowie an der See schrittweise ein relativ dichtes Netz von sog. „Haupt=Pegeln“ nach einheitlichen Richtlinien aufzubauen und zu betreiben. Seit Mitte des 19. Jahrhunderts wurden nicht zuletzt wegen der zunehmenden Bedeutung des Wassers für die Wirtschaft und aufgrund des gestiegenen Wasserbedarfs für die Bevölkerung die Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Verwendbarkeit von Wasserstandsbeobachtungen immer größer (LANGE 1952). Zudem benötigten die Ingenieure für die Planung und erfolgreiche Umsetzung wasserbaulicher Großprojekte an den Küsten und im Binnenland immer genauere und umfangreichere Angaben zu den Wasserständen. Angesichts dieser Tatsache, aber auch im Hinblick auf die technischen Neuerungen im Pegelwesen (Einsatz von selbst registrierenden Pegeln etc.), wurde in den Wasserfachbehörden der preußischen Provinzen sowie im zuständigen Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten in Berlin ab etwa 1865 erkannt, dass eine Überarbeitung der alten preußischen Pegelinstruktion von 1810 dringend geboten ist. Dies geschah nicht zuletzt wegen der anstehenden Einführung des metrischen Systems in Deutschland und der damit unweigerlich verbundenen Umstellung aller preußischen Pegel vom alten Maßstab (Fuß, Zoll) auf das neue Meter- bzw. Zentimetermaß. Wahrscheinlich schon seit Ende des Jahres 1869 wurde die alte Pegelinstruktion von 1810 überarbeitet. Schließlich konnte der preußische Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, Graf Heinrich Friedrich August von Itzenplitz (1799–1883), am 14. September 1871 in Berlin eine neue „Instruktion über die Beobachtung und Zusammenstellung der Wasserstände an den Hauptpegeln“ unterschreiben (CIRKULAR 1871) (s. Abb. 5). Sie wird in den Quellen häufig auch als „neue Pegelordnung“ bezeichnet.

Die Pegelvorschrift von 1871 umfasst insgesamt 9 Paragraphen. Alle Festlegungen beziehen sich auf die sog. „Haupt=Pegel“. Wie bereits in der Instruktion von 1810 geschehen, so wird auch im neuen Gesetzestext der „Erhaltung der Festpunkte“ sowie der Überprüfung der Pegel besondere Beachtung zugewiesen. Dementsprechend heißt es im Paragraph 2: „Für [die] Erhaltung der Festpunkte, mit welchen die Pegel verglichen werden, ist möglichst Sorge zu tragen. Diese Festpunkte müssen so scharf bezeichnet sein, daß ihre Höhe bis auf eine Linie oder 2 Millimeter sicher sei. Wo diese Schärfe jetzt nicht mehr stattfindet, ist der wahrscheinliche Werth ihrer Höhe zu ermitteln und eine neue Bezeichnung oder ein neuer Festpunkt zu wählen, der aber durch sorgfältiges Nivelle-

ment an den früheren angeschlossen werden muß. Die Wahl eines neuen Festpunktes ist kurz, aber deutlich und bestimmt zu registriren ...“ (dieses Zitat und alle folgenden Zitate aus: CIRKULAR 1871). Außerdem waren laut den Festlegungen im Paragraph 3 die Bauinspektoren oder Baumeister eines Verwaltungsbezirks in jedem Jahr „wenigstens einmal“ verpflichtet, die Höhenlagen der Pegel mit den dazu gehörigen Festpunkten durch Einmessung zu überprüfen. Eine Kontrolle musste zudem stattfinden, wenn an einem Pegel eine Reparatur ausgeführt wurde oder ein Austausch des Pegels nötig geworden war. Ferner hatte eine jährliche Überprüfung an allen Pegeln stattzufinden, die „entweder geneigt oder in mehreren Absätzen aufgestellt sind“.

Der Umstellung der Maßangaben an allen Hauptpegeln von preußischen Fuß und Zoll in Meter bzw. Zentimeter widmete sich der Paragraph 4. Darin wurde angewiesen, neben den bisherigen alten Pegeln, welche unverändert bleiben sollten, einen zweiten Pegel mit Metermaß aufzustellen und diesen ab 1. Januar 1872 zu beobachten. Die Meterangaben mussten mit römischen, die Dezimeter mit arabischen Zahlen bezeichnet werden. Über die Umsetzung dieser Anordnung konnten im Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abteilungen Magdeburg und Merseburg, für die Hauptpegel in der preußischen Provinz Sachsen entsprechende Quellenbelege gefunden werden. Demnach hat man an vielen Messstellen neue Pegel aus Stahlguss aufgestellt (s. Abb. 6) und die alten, zumeist hölzernen Pegel für einen Zeitraum von ca. 2 Jahren parallel dazu beobachtet.

Eine Präzisierung hinsichtlich der Beobachtungszeiten findet sich in der neuen Pegelordnung im Paragraph 5. Dort heißt es: „Auf denjenigen Stationen, wo kein merklicher Flutwechsel stattfindet, werden die Wasserstände an jedem Tage zu Mittag zwischen 11 und 1 Uhr beobachtet. Sollte der Wasserstand sich schnell ändern, wie etwa bei Eisgängen oder Gewitter-Regen, so ist das Maximum oder Minimum des Wasserstandes, insofern es nicht in der vorstehend angegebenen Beobachtungszeit eintritt, in der letzten Spalte der Tabelle unter Bezeichnung der Zeit besonders zu vermerken.“ Weiter wurde ausgeführt: „Wo dagegen ein stärkerer Fluthwechsel sich bemerkbar macht, ist jedesmal im Laufe eines Tages und zwar in den Tagesstunden ein Hochwasser und ein Niedrigwasser mit möglichst genauer Angabe der Zeit des Eintritts derselben zu beobachten und zu notiren.“ Zu den damals modernen, selbst registrierenden Pegeln finden sich im Paragraph 5 ebenfalls Anweisungen: „Sollten auf einzelnen Stationen selbstregistrirende Pegel

**Abbildung 6**

Detailaufnahme eines Pegels aus Stahlguss; diese Pegel wurden nach 1871 in der preußischen Provinz Sachsen unter anderem an der Saale, Unstrut und Gera neu gesetzt (Foto: M. Deutsch).
Photography of a gauge made of cast steel. These gauges were installed after 1871 in the Prussian Province Saxony on the rivers Saale, Unstrut, Gera and others.

aufgestellt werden, so bleiben nach Maßgabe ihrer Einrichtung besondere Instruktionen vorbehalten; da jedoch die Einsenkung der Schwimmer sich leicht verändert, auch sonstige Unordnungen im ganzen Apparat zu besorgen sind, so muß wenigstens einmal in jedem Monat die Vergleichung mit einem daneben stehenden festen Pegel vorgenommen und das gefundene Resultat mitgeteilt werden.“

Wie bereits in der Pegelinstruktion von 1810 ausgeführt, enthält auch die Pegelordnung von 1871 Anweisungen, wonach die Beobachter nicht nur die täglichen Pegelstände, sondern auch Angaben zum Zustand eines Gewässers und zur Witterung in ihren Unterlagen vermerken mussten. Die entsprechende Stelle im Paragraph 5 lautet: „Der Eisgang und Eisstand muß so vollständig notirt werden, daß aus der Tabelle zu ersehen ist, wie lange das Gewässer neben dem Beobachtungsorte mit Eis bedeckt gewesen. Ferner ist anhaltender starker Regen, oder Schneefall und heftiger Wind mit Angabe der Richtung desselben in die Tabelle aufzunehmen. In den Tabellen für die Seehäfen ist dagegen die Richtung und Stärke des Windes fortgesetzt anzugeben, letztere unter den Bezeichnungen: Windstille, mäßiger Wind, starker Wind, Sturm und Orkan.“

Die Paragraphen 7, 8 und 9 beziehen sich auf die Datendokumentation und Datenübergabe. Zahlreiche Festlegungen, etwa zur exakten Führung von Pegellisten, entsprechen im Grunde den Anordnungen von 1810. Im Unterschied zur Pegelinstruktion von 1810 mussten ab 1871 am Monatsende die Summen der Wasserstände gebildet werden. Hieraus hatten die Bauinspektoren oder Baumeister am Jahresende dann sog. „Jahr=Summen“ zu bilden. Eine graphische Darstellung der Wasserstände in Form einer Ganglinie wurde in der Pegelordnung von 1871 nicht mehr gefordert.

Überschaut man die in der preußischen Pegelordnung von 1871 festgelegten Bestimmungen, so handelt es sich bei diesem Dokument in großen Teilen um eine Bestätigung bzw. Novellierung bereits bestehender Festlegungen. Das betrifft unter anderem die Frage der genauen Nivellierung der Pegelnulldpunkte oder die Datendokumentation. Neu sind hingegen die Festlegungen zur Umstellung der Pegel von preußischen Fuß und Zoll auf das metrische System sowie Bestimmungen zur regelmäßigen Prüfung selbst registrierender Pegelanlagen. Abschließend ist hinzuzufügen, dass die preußische Pegelordnung von 1871 bis 1935 galt. Mit dem 14. September 1935 trat eine neue und im damaligen Deutschen Reich einheitlich geltende Pegelvorschrift in Kraft (PEGELVORSCHRIFT 1935).

5 Anmerkungen zur Umsetzung der preußischen Pegelinstruktionen in der Praxis – ergänzende Verordnungen und Erlasse

Die in staatlichen und kommunalen Archiven und Bibliotheken sowie in den Dienstarchiven/ Registraturabteilungen der Wasserwirtschaftsverwaltungen der Länder Thüringen und Sachsen-Anhalt durchgeführten Quellenstudien zum preußischen Pegelwesen lassen den Schluss zu, dass die praktische Umsetzung der Pegelordnungen von 1810 und 1871 keinesfalls einfach verlief. Im Gebiet der preußischen Provinz Sachsen kam es beispielsweise ab Mitte 1816 bei der Einrichtung neuer Pegelstellen an der Saale und Unstrut immer wieder zu Problemen. So wurden die Nullpunkte an verschiedenen Pegelstellen ungenau bestimmt (vgl. u.a. Akten im Thüringer Talsperren- und gewässerkundlichen Archiv Tambach-Dietharz, Pegelakten Unstrut ab 1817–1880, ohne Signatur). Zudem mussten nach Hochwasserereignissen sowie Eisgängen die an Brücken oder Schleusen neu angebrachten Lattenpegel mehrfach ausgetauscht werden, da sie stark beschädigt waren. Bei diesen Arbeiten wurde mitunter nicht genau darauf geachtet, in welcher Höhe die Latte vorher befestigt war. Das führte zu verfälschten Pegelwerten (vgl. u.a. Pegelakten zur Saale im Dienstarchiv des LHW Sachsen-Anhalt, Dienstort Halle/S.). Es muss an dieser Stelle betont werden, dass die erwähnten negativen Befunde nicht bei allen Kontrollen festgestellt wurden und daher nicht zu verallgemeinern sind. Das heißt, bei den zwischen 1820 und 1870 mindestens einmal im Jahr durchgeführten Überprüfungen der Pegelstellen mussten die damit beauftragten hohen Wasserbaubeamten insgesamt gesehen nur vereinzelt gravierende technische Mängel beanstanden. Gewiss gilt dies nicht nur für die preußische Provinz Sachsen.

Für die ersten Jahre nach Inkrafttreten der neuen preußischen Pegelordnung vom September 1871 und einer deutlich strengeren Überprüfung der Pegelanlagen und Pegeldokumente fan-

den sich in den Akten nur wenige Einträge mit negativen Anmerkungen oder Mängellisten. Vielmehr kam es auch in der preußischen Provinz Sachsen zu einer Aufwertung verschiedenster Pegelstandorte im Rahmen der Einrichtung von sog. „Hochwasserwarn- und meldestellen“ (SATZUNGEN 1889) (s. Abb. 7). Damit verbunden waren unter anderem Instandsetzungsarbeiten sowie Neueinmessungen und ggf. Korrekturen der Messinstrumente an ausgewählten Saale- und Unstrut-Pegeln (vgl. u.a. Pegelakten zur Saale, Dienstarchiv Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Dienstbereich Halle/S.).

Ungeachtet der Vorschriften kam es in Preußen auch nach 1871 immer wieder zu Verstößen gegen bestehende Pegelanweisungen. Aus diesem Grund erschien beispielsweise am 9. September 1881 in Berlin ein Zirkular des Ministers der öffentlichen Arbeiten, in dem festgestellt wurde, dass die „Instruktion über die Beobachtung und Zusammenstellung der Wasserstände an den Hauptpegeln“ vom 14. September 1871 „vielfach nicht genügend beachtet“ würde (dieses Zitat und alle folgenden Zitate wurden entnommen aus: CIRKULAR 1881) (s. Abb. 8). Akteneinträge aus den Jahren 1871 bis um 1880 bestätigen das u.a. für die Elbe und Saale. Demnach bestanden an mehreren preußischen Hauptpegeln technische Mängel oder die Beobachter versahen

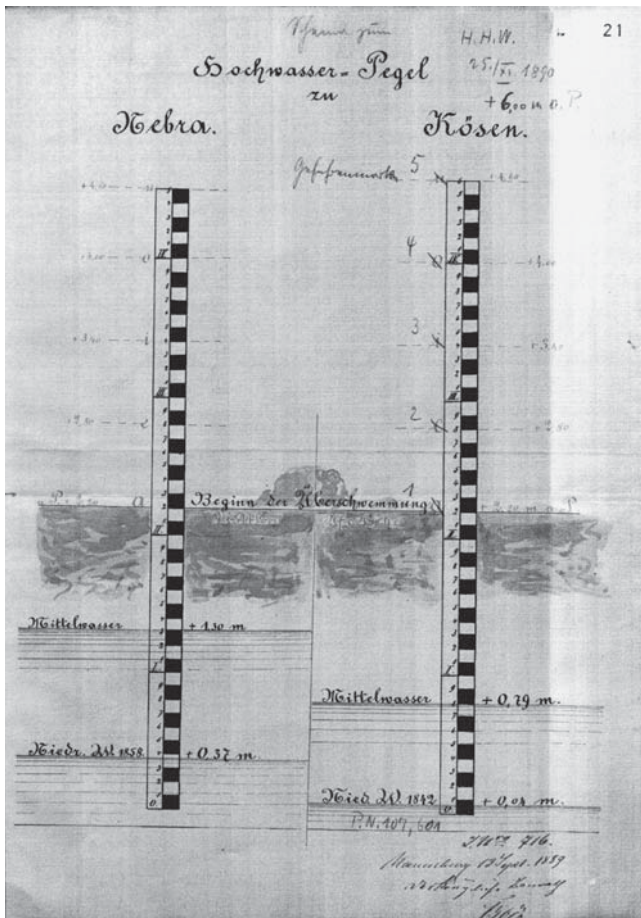


Abbildung 7

Skizze zu den Hochwasserpegeln an der Unstrut (Pegel Nebra) und Saale (Pegel Kösen) aus dem Jahr 1889 (Quelle: Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abt. Merseburg Rep. C 48 Ic Nr. 1065, Bl. 21)
Draft of flood gauges on the rivers Unstrut (gauge station Nebra) and Saale (gauge station Kösen) of 1889

1) In den Wasserstandstabellen sind die Witterungs- und Eisverhältnisse nicht immer genügend angegeben.

2) Die Festpunkte haben nicht überall die im §. 2 der Instruktion vorgeschriebene Schärfe, indem bisweilen mit Putz überzogene Blinthen oder Sockel, welche leicht beschädigt werden können, als Festpunkt angenommen sind, so daß ihre Höhenlage nicht bis auf 2mm sicher ist.

3) Die Festpunkte liegen zum Theil so unbequem, daß mehrfache Aufstellungen des Nivellir-Instruments erforderlich sind, um die Nullpunkte der Pegel mit denselben zu vergleichen, während sich Gelegenheit bietet, an Mauern u., welche sich nahe dem Pegel befinden, bequemere Festpunkte zu gewinnen.

4) Die Pegeltafeln werden im Anstrich nicht rechtzeitig erneuert, so daß die Theilung nicht mehr zu erkennen und ein direktes Ablesen des Wasserstandes daher nicht möglich ist.

Em. Hochwohlgeboren ersuche ich daher ergebenst, gefälligst dafür zu sorgen, daß den Pegelbeobachtungen überall die erforderliche Sorgfalt zugewendet wird und daß auch der Strombau-direktor resp. Regierungsbaurath bei seinen Reisen darauf achtet, daß die Pegel und auch die Festpunkte den Vorschriften der gedachten Instruktion entsprechen.

Abbildung 8

Ausschnitt aus dem Zirkular des preußischen Ministers für öffentliche Arbeiten vom 9. September 1881 (CIRKULAR 1881, S. 489)

Detail of a circular of the Prussian Minister for Public Works, dated September 9th, 1881

ihre Aufgaben nachlässig. Dazu gehörte, dass in den monatlich einzureichenden Pegellisten Angaben über die Witterungs- und Eisverhältnisse fehlten oder nur unzureichend vorgenommen wurden.

Mit Blick auf die Festpunkte wurde im Zirkular von 1881 festgestellt: „Die Festpunkte haben nicht überall [...] die vorgeschriebene Schärfe“. Zudem würden sie teilweise „so unbequem [liegen], daß mehrfache Aufstellungen des Nivellir-Instruments erforderlich sind, um die Nullpunkte der Pegel mit denselben zu vergleichen ...“. Des Weiteren wurde es vielfach unterlassen, die Pegel „im Anstrich“ rechtzeitig zu erneuern. In Folge dessen wäre „die Theilung nicht mehr zu erkennen und ein direktes Ablesen des Wasserstandes daher nicht möglich“.

6 Zur Bedeutung historisch orientierter Untersuchungen zur Geschichte des Pegelwesens

Abschließend soll auf die Bedeutung historischer Untersuchungen zur Geschichte des Pegelwesens eingegangen werden. Dabei wird der Frage nachgegangen, warum und mit welchen Zielstellungen derartige Forschungen heute durchgeführt werden. Wissenschaftliche Arbeiten zur geschichtlichen Entwicklung des Pegelwesens, im Falle dieses Artikels im Königreich Preußen, sind insbesondere aus drei Gründen von Bedeutung.

Zunächst können durch die Auswertung gedruckter und handschriftlicher Dokumente Aussagen zum Aufbau, zur Struktur und zu den Aufgaben gewässerkundlicher Fachdienste getroffen und damit interessante Beiträge zur Verwaltungsgeschichte eines Landes erbracht werden. So lässt sich beispielsweise bei einer guten Überlieferungslage in den Archiven anhand der Quellen lückenlos nachvollziehen, welche preußische Fachbehörde nach 1810 an einem Fluss oder Küstenabschnitt für den ordnungsgemäßen Betrieb der sog. „hydrographischen Beobachtungs= Punkte“ zuständig war und wie die regionalen Wasserbauverwaltungen ministerielle Verfügungen in ihrer täglichen Arbeit umsetzten.

Darüber hinaus leisten die Arbeiten zum Pegelwesen des 19. Jahrhunderts einen wichtigen Beitrag für aktuelle Hochwasserforschungen (DEUTSCH & PÖRTGE 2009a). Mit dem Ziel einer externen Informationserweiterung konnte in den vergangenen Jahren im Rahmen verschiedener Vorhaben Hunderte, bislang von der Wissenschaft kaum beachtete Pegelakten (ab etwa 1816 bis um 1900) in den Archiven erfasst, quellenkritisch bewertet und schließlich einer Plausibilisierung und Homogenisierung unterzogen werden. Dabei war es von Bedeutung zu wissen, nach welchen Vorschriften und mit welchen Instrumenten die Daten erhoben wurden. Im Ergebnis interdisziplinär angelegter Studien konnten anhand von Originaldaten sowohl Korrekturen bereits bekannter älterer Datensätze als auch Verlängerungen rezenter Pegelreihen um ca. 100 Jahre vorgenommen werden (vgl. dazu u.a. MUDELSEE et al. 2006, BJARSCH et al. 2007, BARTL et al. 2008).

Des Weiteren sind Forschungen zum historischen Pegelwesen für umwelt- bzw. klimageschichtliche Projekte, bei denen die Ursachen, der Verlauf und die Folgewirkungen herausragender Hochwasser der letzten Jahrhunderte eingehender untersucht werden, von großer Bedeutung (DEUTSCH & PÖRTGE 2003, GLASER et al. 2006, BRÁZDIL et al. 2009). Neben der Nutzung von Augenzeugenberichten, amtlichen Schadensgutachten, Hochwassermarken, Überschwemmungsflächenkarten etc. stellen insbesondere Pegeldaten, die ab 1810 nicht nur an preußischen Flüssen und Küstenbereichen nach landesweit einheitlich geltenden Vorschriften erhoben wurden, eine wichtige Arbeitsgrundlage dar. Von großem Interesse sind hierbei auch die in vielen Pegelakten enthaltenen Notizen zum Witterungsgeschehen (DEUTSCH & PÖRTGE 2009b).

Vor diesem Hintergrund werden an der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig im Rahmen eines DFG-Projektes zur Witterungsgeschichte Mitteleuropas nicht nur die oben erwähnten zeitgenössischen Hochwasserberichte erfasst, sondern es finden auch preußische Pegellisten bzw. Pegeldaten aus der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts Berücksichtigung. So konnten beispielsweise bei den Quellenrecherchen zum katastrophalen Winterhochwasser von 1830 tägliche Wasserstandsdaten erfasst

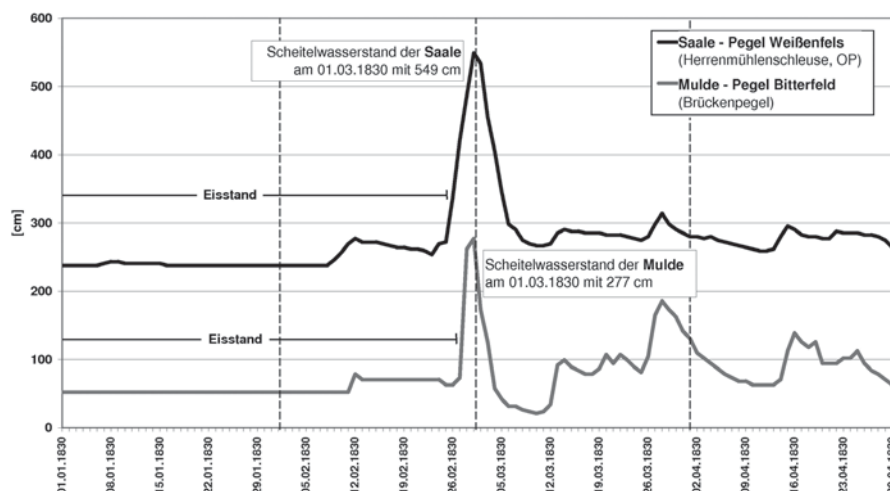


Abbildung 9

Wasserstände der Saale und Mulde vom 1. Januar bis 30. April 1830, Datengrundlage bilden Werte, die historischen Pegellisten entnommen wurden (hier: Schleusenpegel Herrenmühlenschleuse Weißenfels/ Saale sowie Brückenpegel Bitterfeld/ Mulde) (eigene Darstellung, Datenquelle: Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt, Dienstarchiv, Pegelakten Mulde und Saale, ohne Signatur)

Water levels of the rivers Saale and Mulde from January 1st to April 30th, 1830; database: historical gauge records of the rivers Saale (gauging-station at the ship-lock Weißenfels) and Mulde (gauging-station at the bridge Bitterfeld)

und bearbeitet werden (z. B. an der Mulde: Brückenpegel Bitterfeld und an der Saale: Schleusenpegel Dürrenberg) (s. Abb. 9).

Angesichts der Befunde und der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten, die historische Pegelakten bzw. -daten trotz zahlreicher, hier nicht weiter zu diskutierender Restriktionen bieten, muss in den nächsten Jahren die systematische Aufarbeitung historischer Pegeldaten unbedingt fortgesetzt werden. Hierzu gehört auch die Auswertung von Quellenbeständen, in denen weitere Informationen zur Organisation und Entwicklung des Pegelwesens enthalten sind.

7 Zusammenfassung

Im Beitrag werden ausgewählte Aspekte zur Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert vorgestellt. Der Schwerpunkt der Betrachtungen liegt auf administrativen Vorgängen. Von entscheidender Bedeutung für die Entwicklung der amtlichen Hydrologie im Königreich Preußen waren der Erlass von zwei Pegelinstruktionen sowie ergänzender Bestimmungen. Die erste preußische Instruktion trat am 13. Februar 1810 in Kraft. Sie wurde maßgeblich von dem bedeutenden Wasserbauingenieur Johann Albert Eytelwein erarbeitet. Die Festlegungen von 1810, darunter die Vorschriften zur Einrichtung von Pegelstellen und Regelungen zur Dokumentation der Messdaten, galten 61 Jahre. Mit Einführung des metrischen Systems und aufgrund der gewachsenen Anforderungen an die Qualität gewässerkundlicher Daten musste die alte Pegelinstruktion zu Beginn der 70er Jahre des 19. Jahrhunderts überarbeitet werden. Nach eingehender fachlicher Prüfung wurde sie am 14. September 1871 vom preußischen Minister für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten, Graf von Itzenplitz, erlassen. Untersuchungen zur Geschichte des Pegelwesens sind aus verschiedensten Gründen von Bedeutung. So können zum Beispiel die in den Quellen erfassten historischen Wasserstandsdaten für aktuelle Forschungsprojekte genutzt werden.

Summary

This paper presents selected aspects of the Prussian gauging-system in the 19th century. The main focus is thereby set on the administrative procedures and instructions. The enactment of two water-level gauging instructions and complementary regulations had essential significance for the development of the official hydrology in the Kingdom of Prussia. The civil engineer Johann Albert Eytelwein had a key role in the development of the first regulation/ instruction which entered into force on February 13th, 1810. These regulations, including instructions on how to set up a gauging station and instructions for the documentation of measured data, remained valid for 61 years. The gauging instructions were revised in the 1870s. This revision was caused by the implementation of the metric system and the increasing requirements on the quality of hydrological observations. It was issued after thorough revision by the Prussian Minister of Trade, Crafts and Public Works, Earl of Itzenplitz, on September 14th, 1871. Research on the history of water-level gauging is of importance for several reasons; for example, the data from historical water-level files may be used for current research projects.

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Landeshauptarchivs Sachsen-Anhalt (Abt. Magdeburg und Abt. Merseburg), des Brandenburgischen Landeshauptarchivs Potsdam, des Thüringer Talsperren- und gewässerkundlichen Archivs (Tambach-Dietharz), des Stadtarchivs Mühlhausen, der Bibliothek der Humboldt-Universität Berlin, der Bibliothek der Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, des Thüringer Ministeriums für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (TMLFUN) und des Landesbetriebs für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft (LHW) Sachsen-Anhalt, Dienstsitz Halle/S., für die freundliche Unterstützung der Forschungen. Ein besonderer Dank geht an Frau Dipl. Geogr. D. Müller (Göttingen), die bei der technischen Erstellung des Artikels mitgewirkt hat. Die Untersuchungen sind Bestandteil eines von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Projektes an der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig (Thema: „Erschließung und wissenschaftliche Auswertung des meteorologischen Teils der Weikinn'schen Quellensammlung zur Witterungsgeschichte Mitteleuropas“, Förderkennzeichen: HE 939/18-3). Für die Finanzierung wird an dieser Stelle nochmals gedankt.

Anschrift des Verfassers:

Dr.rer.nat. M. Deutsch, M.A.
Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
DFG-Weikinn-Projekt
Karl-Tauchnitz-Straße 1, 04107 Leipzig
amdeutsch@arcor.de

Verzeichnis der handschriftlichen Quellen

Brandenburgisches Landeshauptarchiv Potsdam, Rep. 2A Regierung Potsdam I LW Nr. 1548

Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abt. Merseburg, Rep. C 48 I C Nr. 1065

Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abt. Merseburg, Rep. C 55 Bauinspector Artern Nr. 59

Thüringer Talsperren- und gewässerkundliches Archiv, Tambach-Dietharz, Pegelakten, Unstrut-Brückenpegel Schönewerda, 1816 ff., ohne Signatur

Stadtarchiv Mühlhausen, Sign. 11/ 647/ 2

Dienstarchiv und Registratur, Landesbetrieb für Hochwasserschutz und Wasserwirtschaft Sachsen-Anhalt (LHW), Dienstort Halle/ S., Pegelakten Mulde (1829-1830) und Saale (1829-1830), ohne Signatur

Literaturverzeichnis und Verzeichnis gedruckter Quellen

BARTL, S., U. GRÜNEWALD & S. SCHÜMBERG (2008): Zur Rekonstruktion langjähriger Wasserstands- und Durchflusszeitreihen am Elbepegel Dresden. – In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 14, S. 162–167

BJARSCH, B., K. THÜRMER & M. DEUTSCH (2007): Langzeitauswertung der täglichen Wasserstände und Abflüsse an den Unstrutpegeln Sachsenburg und Oldisleben seit dem Beginn der Wasserstandsmessungen 1817 bis 2005. – In: Von der cura aquarum bis zur EU-Wasserrahmenrichtlinie. Fünf Jahre DWhG, Schriftenreihe der Deutschen Wasserhistorischen Gesellschaft e.V. (DWhG), Bd. 11, 2. Halbband, Siegburg, S. 377–398

BRAHMS, A. (1755): Anfangs=Gruende der Deich= und Wasser=Baukunst, oder Gruendliche Anweisung, wie man tüchtige haltbare Dämme wider die Gewalt der gössesten See=Fluthen bauen, auch dieselbe jederzeit im unverringerten Zustande erhalten könne, damit das Land für verderblichen Einbrüchen und Ueberschwemmungen verwahrt sey [...]. Dem gemeinen Wesen zu Dienste, und weiterer Verbesserung dieser so sehr nutzbaren Wissenschaft entworfen und ans Licht gegeben von Albert Brahms, Aurich, gedruckt, verlegt und zu finden bey Hermann Tapper, Königlich=Preussischen Ostfriesischen privilegirtem Buchdrucker

BRÁZDIL, R., G. DEMARÉE, M. DEUTSCH, E. GARNIER, A. KISS, J. LUTERBACHER, N. MACDONALD, C. ROHR, P. DOBROVOLNÝ, P. KOLÁŘ & K. CHROMÁ (2009): European floods during the winter 1783/ 1784: scenarios of an extreme event during the „Little Ice Age“. – In: Theoretical and Applied Climatology, online, DOI 10.1007/ 5000704-009-0170-5

CIKULAR (1871): Nr. 248 – Cirkular an sämtliche Königliche Regierungen und Landdrosteien, sowie auch an die Königliche Ministerial=Bau=Kommission, die Beobachtung der Wasserstände an den Hauptpegeln betreffend, vom 14. September 1871, Instruktion über die Beobachtung und Zusammenstellung der Wasserstände an den Hauptpegeln, In: Ministerial=Blatt für die gesammte innere Verwaltung in den Königlich Preußischen Staaten. Herausgegeben im Bureau des Ministeriums des Innern, 32. Jahrgang, 1871, Berlin, J. F. Starke, S. 312–314 (hier ebenfalls genutzte Vorlagen: [a] handschriftliche Ausfertigung der Pegelinstruktion in: Landeshauptarchiv Sachsen-Anhalt, Abt. Merseburg, Rep. C 55 Bauinspector Artern Nr. 59, Bl. 17-21 sowie [b] gedruckte Ausfertigung der Pegelinstruktion in: Stadtarchiv Mühlhausen, Sign. 11/ 647/ 2)

- CIRKULAR (1881): Cirkular des Ministers der öffentlichen Arbeiten an die Königl. Oberpräsidenten, Regierungspräsidenten, Regierungen ec. betr. die Beobachtung der Wasserstände an den Hauptpegeln, vom 9. September 1881, In: GROTEFEND, G.A. (1881): Die Gesetze und Verordnungen nebst den sonstigen Erlassen für den preußischen Staat und das deutsche Reich, Jahrgang 1881, Düsseldorf, Druck und Verlag L. Schwann'sche Verlagsbuchhandlung, S. 488–489
- DEUTSCH, M. & K.-H. PÖRTGE (2003): Hochwasserereignisse in Thüringen. – Schriftenreihe der TLUG Jena, Nr. 63, zweite durchgesehene/überarbeitete Auflage, Jena, 99 S.
- DEUTSCH, M. & K.-H. PÖRTGE (2009a): Historische Unterlagen als eine Grundlage für die Bewertung des Hochwasserrisikos. – In: Nacken, H. (Hrsg.): Die neue EG-Hochwasserrichtlinie – In drei Schritten zur Umsetzung. Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 25/09, Hennef, S. 25–35
- DEUTSCH, M. & K.-H. PÖRTGE (2009b): Early water-level measurements and weather observations on Prussian gauging stations: examples from the Prussian Province Saxony (1817–1875). – In: JANKOVIC, V. & C. BARBOZA (ed.): Weather, Local Knowledge and Everyday Life. Issues in Integrated Climate Studies, MAST, Rio de Janeiro, pp. 228–232
- ECKOLDT, M. (1965): Johann Albert Eytelweyn (1764–1848) zu seinem 200. Geburtstag. – In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, H. 1, S. 1–8
- EYTELWEIN, J.A. (1800): Praktische Anweisung zur Konstruktio[n] der Fashinenwerke und den dazu gehörigen Anlagen an Flüssen und Strömen nebst einer Anleitung zur Veranschlagung dieser Baue. – Entworfen von Johann Albert Eytelwein, Berlin
- EYTELWEIN, J.A. (1801): Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik: mit vorzüglicher Rücksicht auf ihre Anwendung in der Architektur. – Berlin
- EYTELWEIN, J.A. & D. GILLY (Hrsg.) (1802): Praktische Anweisung zur Wasserbaukunst, welche eine Anleitung zur Entwerfung, Veranschlagung und Ausführung der am gewöhnlichsten vorkommenden Wasserbaue enthält. – Berlin
- FÜGNER, D. (1990): Die historische Entwicklung des hydrologischen Meßwesens in Sachsen. – In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, H. 5/6, S. 156–160
- GLASER, R., K. BÜRGER, D. SUDHAUS, P. DOSTAL, H. MAYER, F. IMBERY & J. SEIDEL (2006): The historical flood events of 1824, 1845 and 1882 in Germany – their integration in an actual flood risk management by means of the extreme flood in 1824. – In: Publication S.H.F., pp. 113–120
- LANGE, O. (1952): Entwicklung des Pegelwesens. – In: BfG (Hrsg.): Gedenkschrift der Bundesanstalt für Gewässerkunde zur 50-jährigen Wiederkehr der Gründung der Preußischen Landesanstalt für Gewässerkunde, Bielefeld, S. 10–28
- LAWA (1997): Pegelvorschrift, Stammtext. 4. Auflage. – Kulturbuch-Verlag GmbH Berlin, 105 S. und Anlagen A bis E
- MUDELSEE, M., M. DEUTSCH, M. BÖRNGEN & G. TETZLAFF (2006): Trends in flood risk of the River Werra (Germany) over the past 500 years. – In: Hydrological Sciences-Journal – des Sciences Hydrologiques, vol. 51 (5), Special issue: Historical Hydrology, pp. 818–833
- PEGELVORSCHRIFT (1935): Pegelvorschrift. – Hrsg. Vom Deutschen Reichs- und preußischen Verkehrsministerium, Berlin, 210 S.
- SATZUNGEN (1889): Satzungen betreffend die Errichtung und Ordnung der Verbreitung von Nachrichten über Hochwasser und die Feststellung des Verhaltens der Hochfluthen im Gebiet der Saale, der Unstrut, der weißen Elster, der Mulde und schwarzen Elster vom 23.10.1889, hier genutzte Vorlage in: Sonder= Abdruck aus dem 44. Stück des Amtsblatts der Königlichen Regierung zu Merseburg, ausgegeben zu Merseburg, den 2. November 1889

Albert Göttle, Michael Altmayer und Alfons Vogelbacher

Entwicklung und Aufgaben des gewässerkundlichen Dienstes in Bayern

History and tasks of the Hydrological Service in Bavaria

Während Johann Albert Eytelwein 1810 in Preußen die Pegelvorschrift einführte, war es in Pfalz-Bayern 1806 Carl Friedrich von Wiebeking, der die Anordnung zum Aufstellen und Beobachten von Pegeln herausgab. Mit der industriellen Revolution hatte auch eine rege Straßen-, Brücken- und Wasserbautätigkeit begonnen. Die Gewässerkunde diente für lange Zeit vornehmlich dem Wasserbau und fand dort auch ihre bedeutendsten Förderer.

Die Zeiten haben sich geändert. Während im 19. und zu Anfang des 20. Jahrhunderts noch die Regulierung der großen Flüsse, der Wasserkraftausbau und die Trinkwasserversorgung der Städte im Mittelpunkt stand, kam im 20. Jahrhundert die Überwachung und Reduzierung der Belastung der Flüsse, Seen und des Grundwassers durch Wärme, Abwasser und Stoffeinträge hinzu. Der „Wasserplanet Erde“ gerät bis heute zunehmend unter Druck durch wachsende Bevölkerung, zunehmende Verschmutzung und schwindende Ressourcen. Entsprechend seiner gewachsenen Bedeutung bekam der Schutz der Umwelt in den 1970er Jahren ein eigenes Ministerium in Bayern und die Wasserwirtschaft mit der Gewässerkunde ist in Bayern seit 1993 nicht mehr Teil der Bauverwaltung, sondern Teil der Umweltverwaltung geworden.

Die drei Hauptziele der bayerischen Wasserwirtschaft sind heute: Das Wasser als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tier und Pflanze schützen; Dem Menschen eine verantwortungsvolle Nutzung des Wassers ermöglichen; Vor den Gefahren des Wassers schützen.

Gewässerkunde in Bayern bedeutet quantitative und qualitative Hydrologie des Grundwassers, der Seen und der Fließgewässer sowie Hochwasservorhersage und Hochwassernachrichtendienst. Seit dem Jahr 2000 bestimmte die Europäische Wasserrahmenrichtlinie zunehmend die Aufgaben insbesondere in der qualitativen Hydrologie. Der sich abzeichnende Klimawandel bringt neue Herausforderungen für die Wasserwirtschaft und damit auch für die Gewässerkunde.

Der Fachbeitrag wirft einen Blick auf den Werdegang der Gewässerkunde in Bayern. Die heutigen Aufgabenfelder des gewässerkundlichen Dienstes werden in ihrer Vielfalt dargestellt. Es wird gezeigt, wie die Gewässerkunde neuen Herausforderungen begegnet.

Schlagwörter: Gewässerkundlicher Dienst, Gewässerschutz, Nutzung des Wassers, Wasserwirtschaft

In 1810, Johann Albert Eytelwein introduced regulations for the construction of gauging stations in Prussia, and in 1806 Carl Friedrich von Wiebeking published official instructions for the building and reading of water-level gauges in Pfalz Bavaria. The industrial revolution intensified the building of roads and bridges and stimulated hydraulic engineering. For a long time, hydrology served mainly hydraulic engineering purposes and had its major promoters in this sector.

Times are changing. While in the 19th and in the early 20th century the priority tasks were the regulation of big rivers, the development of hydropower, and the water supply of the cities, in the 20th century, the monitoring and reduction of the contamination of rivers, lakes, and groundwater by heat, wastewater, and fertilizers were gaining in importance. Until today "Water-planet Earth" is increasingly under pressure by growing population, rising contamination, and dwindling resources. According to its growing importance the protection of the environment became the subject of a special ministry in Bavaria in the 1970's and in 1993 water management and hydrology were shifted from the portfolio of the building administration to that of the environmental administration in Bavaria.

The three main objectives of the Bavarian water-management authorities are today: To protect water as a part of the natural balance and as habitat for animals and plants; To enable man to use water responsible; To protect society against threats from water.

In Bavaria, the hydrological service comprises the fields of hydrology (quantity and quality) of groundwater and surface waters, flood forecasting and flood warning. Starting in 2000, the European Water Framework Directive increasingly determined the tasks, particularly in the field of qualitative hydrology. The emerging climate change is bringing up new challenges for water-managers and hydrologists. The article shows the development of the hydrological service in Bavaria. The wide variety of tasks facing the hydrological service is outlined. It is shown how the hydrological service meets these new challenges.

Keywords: Hydrological service, water protection, water-resources management, water use

1 Stationen des Gewässerkundlichen Dienstes

1.1 Wassermesspfähle und Pegel

Anfang des 19. Jahrhunderts begann mit der industriellen Revolution eine rege Straßen-, Brücken- und Wasserbautätigkeit. Hierfür wurden in größerem Umfang Vermessungsgrundlagen und Karten benötigt. Dies war der Anlass zu systematischen Beobachtungen der Wasserstände der Flüsse. Im damaligen Pfalz-Bayern war es 1806 Carl Friedrich von Wiebeking, der die erste Anordnung zum Aufstellen und Beobachten von Pegeln – damals „Wassermesspfähle“ genannt – herausgab.

Nach dieser Anordnung wurden ab dem Jahre 1806 zahlreiche Pegel eingerichtet, darunter an der Isar die Pegel München-Bogenhauser Brücke und Steinerne Brücke, die Pegel Freising, Landshut und Plattling, an der Donau die Pegel Neu-Ulm, Günzburg, Lauingen, Dillingen, Neuburg, Donauwörth und Kaufbeuren. 1811 kamen Lindau (Bodensee), Ferthofen und Egelsee an der Iller und 1819 die Rheinpegel Neuburg, Eimersheim, Sondernheim, Speyer, Ludwigshafen und Frankenthal hinzu. An vielen dieser Pegel werden auch heute noch die Wasserstände beobachtet. Es war sogar schon üblich, Zwischenbeobachtungen bei Hochwasser vorzunehmen bzw. die Höchststände fest-

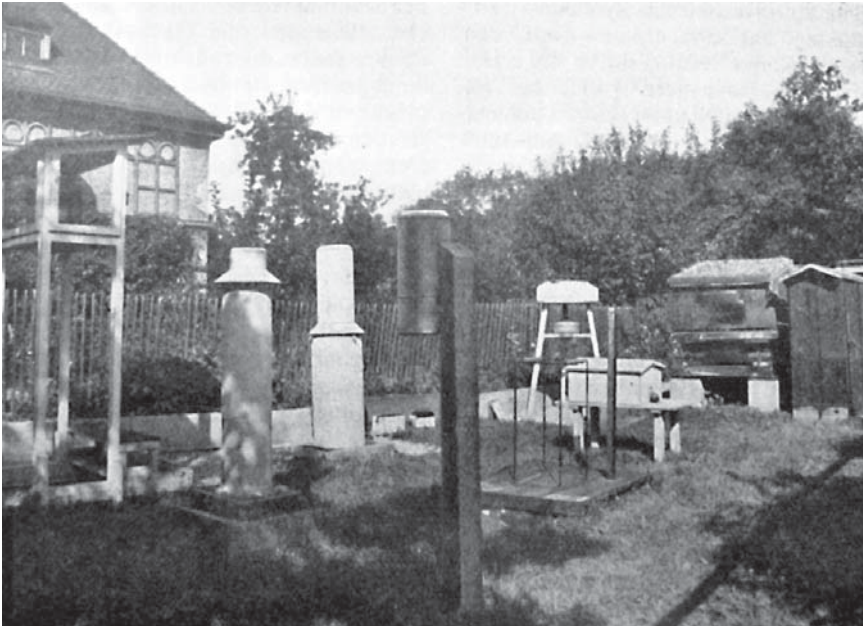


Abbildung 1
Niederschlagsbeobachtung um 1930
Rain-gauge station around 1930

zuhalten. Derartige Aufzeichnungen sind zwar seit 1807 vorhanden, bis 1820 sind jedoch nur noch Fragmente erhalten. 1826 zählte man insgesamt 65 Pegelmessstellen in Bayern (SCHILLER 1983).

Die Gewässerkunde diente seitdem vornehmlich dem Wasserbau und gehörte zur Staatsbauverwaltung. Schon im Jahre 1830 wurde die Bauverwaltung in der Obersten Baubehörde zusammengeführt. Ebenfalls in dieser Zeit wurde die konsequente, auf der Montgelas'schen Verwaltungsreform gründende Dreistufigkeit der Verwaltung realisiert (LFW 1978) mit:

- Ministerium (Leitung, Zielvorstellungen),
- Regierungen/Oberbehörden (Aufsicht, Landesfachbehörden) und
- Ämter der Unterstufe, u.a. Wasserwirtschaftsämter (Vollzug).

163 Jahre lang waren die Gewässerkunde und die Wasserwirtschaft bei der Obersten Baubehörde angesiedelt, bis sie 1993 dem 1970 gegründeten Umweltministerium zugeteilt wurden.

1.2 Abflussmessung und Grundwasserbeobachtung

Der Ausbau der Wasserkraft erforderte genauere und umfassendere Kenntnisse des Abflussverhaltens der Flüsse. Entsprechend wurde die Messung der Abflüsse ab Mitte des 19. Jahrhunderts systematisiert. Die Oberste Baubehörde gab 1855 „Instruktive Vorschriften für die Wassermessung an größeren Flüssen“ aus.

Auch die ersten Grundwasserbeobachtungen wurden zu dieser Zeit durchgeführt. 1853 hatte Pettenkofer die Grundwassersituation in der Münchner Schotterebene untersucht. Er war der Auffassung, dass die 1854 in München ausgebrochene Cholera ihre Ursache auch in der Beschaffenheit des Grundwassers haben könnte. Erste technische Vorschriften zur Grundwasserbeobachtung sind aus dem Jahr 1875 bekannt. Zu

dieser Zeit gingen die ersten örtlichen Messnetze zur systematischen Beobachtung der Grundwasserstände in Betrieb. Sie standen vornehmlich im Zusammenhang mit der Trinkwasserversorgung.

1.3 Hydrotechnisches Bureau – Die erste zentrale Fachbehörde für Gewässerkunde

Die immer weiter wachsende Nutzung der Gewässer für Industrie und Gesellschaft führte schließlich dazu, dass 1898 ein Hydrotechnisches Bureau als besondere Abteilung der Obersten Baubehörde eingerichtet wurde. Es sollte das vorhandene hydrotechnische Material sichten und durch den Aufbau neuer Beobachtungsstationen ergänzen. Damit sollten die technischen Belange bei der Regulierung öffentlicher Flüsse, bei der Veränderung der Flussprofile und bei der Ausnutzung der Wasserkraft berücksichtigt werden.

In den Folgejahren kamen weitere Aufgaben hinzu. Überschwemmungen und Eisstöße sollten verhindert bzw. rechtzeitig erkannt werden. Daher wurde in dem Hydrotechnischen Bureau ein Hochwassernachrichtendienst eingerichtet. Außerdem sollte das Hydrotechnische Bureau Niederschlags-, Verdunstungs- und Versickerungsdaten sammeln und die Grundwasserstände beobachten. Eine zusammenfassende Beschreibung der Grundwasserverhältnisse findet sich entsprechend erstmals 1914 im Jahrbuch des Hydrotechnischen Bureaus. 1917 wurde das Hydrotechnische Bureau in Landesstelle für Gewässerkunde umbenannt.

Die Landesstelle für Gewässerkunde betrieb ein Niederschlagsmessnetz mit 800 Stationen (Abb. 1). Bis 1910 bestand außerdem ein eigenes Messnetz der Landeswetterwarte. 1935 ging die gesamte Niederschlagsbeobachtung auf das neu gegründete Reichsamt für Wetterdienst in Berlin über. Die Gewässerkunde war in der Folge auf die vom Wetterdienst ermittelten Daten angewiesen. Die Zahl der Wasserstandspegel stieg von 273 im Jahre 1900 auf 522 im Jahre 1931. Das Grundwassermessnetz umfasste ca. 268 Stationen.

1910 wurde die „Instruktion für den Hochwassernachrichtendienst (HND)“ herausgegeben. Der HND wurde in landesweiten Hochwassermeldeplänen geregelt. Hochwassernachrichten wurden per Telegraph, Telefon, Eilboten oder Signal durchgegeben und stützten sich auf die Pegelbeobachter. Die Wasserwirtschaftsämter wirkten als Hauptmeldestellen mit. Da es noch keine telefonischen Messwertansageautomaten bzw. Datenfernübertragung gab, wurden Niederschlagsbeobachter eingesetzt. Diese hatten bei Überschreitung festgelegter Niederschlagsmengen dies per WOBS (Wasserobservationstelegramm) an die Hauptmeldestellen weiterzugeben.

1.4 Schutz und Qualität des Wassers werden immer wichtiger

Nach dem Wassergesetz von 1907 (Abb. 2) wurden der Landesstelle für Gewässerkunde auch Aufgaben im Bereich des Gewäs-

erschutzes übertragen. So sollte sie „Gutachten in Fragen der Reinigung des Abwassers aus Ortskanalisationen, gewerblichen und industriellen Gebieten und seiner Einleitung in die Gewässer“ erstellen. Hierzu wurden mit EntschlieÙung des königlichen Staatsministeriums des Innern am 3. Oktober 1908 sogenannte Aufsichtsorgane in den bayerischen Regierungsbezirken installiert. Damit war die technische Gewässergüteaufsicht aus der Taufe gehoben. Die Aufsichtsorgane arbeiteten zunächst nebenamtlich unter der Fachaufsicht der Biologischen Versuchsstation für Fischerei, die später in Bayerische Biologische Versuchsanstalt umbenannt wurde. Ab 1913 gehörte auch die Teichwirtschaftliche Versuchsstation in Wielenbach dazu. 1971 ging die Versuchsstation in die Zuständigkeit des Umweltministeriums über, nannte sich ab 1977 Bayerische Landesanstalt für Wasserforschung und ging schließlich im heutigen Landesamt für Umwelt auf.

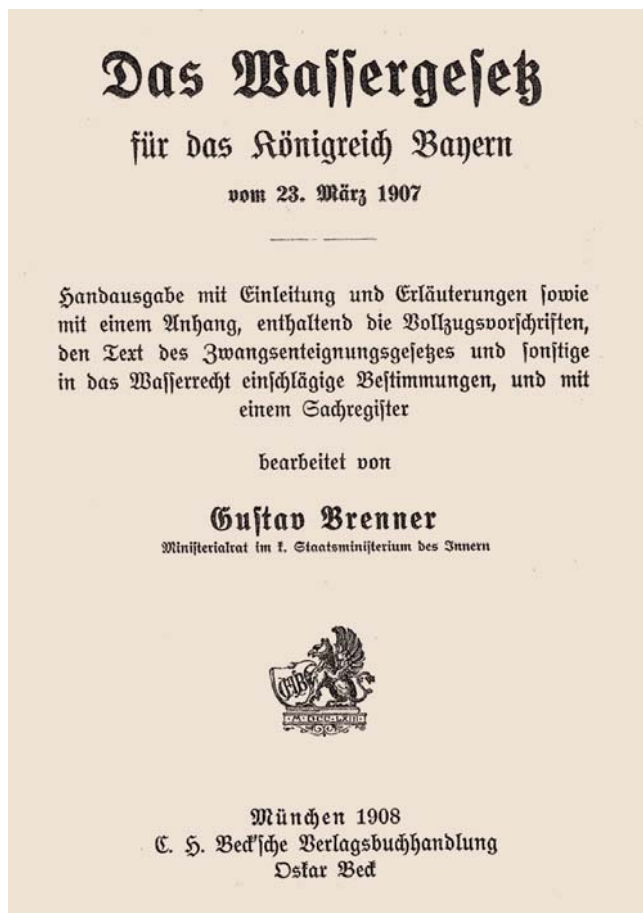


Abbildung 2

Wassergesetz (veröffentlicht 1907) für das damalige Königreich Bayern
Water Law (published in 1907) for the former Kingdom of Bavaria

Die Folgen des Zweiten Weltkriegs und danach das Wirtschaftswunder stellten die Wasserwirtschaft vor neue Herausforderungen. Die wachsende Industrialisierung führte zu einem starken Anstieg des Wasserverbrauchs, die Trinkwasserversorgung geriet durch Stoffeinträge vielerorts in Gefahr, die Gewässer wurden zunehmend durch Industrie und häusliche Abwässer verschmutzt und die Kraftwerkstechnik führte zu einer steigenden Wärmebelastung der Gewässer. Neue Vorschriften und Gesetze sollten die Situation unter Kontrolle halten. Beispielhaft dafür sind das Wasserhaushaltsgesetz 1957 und das neue bayerische Wassergesetz 1962.

Seit 1952 wurden hauptamtliche Sachverständige zur chemisch-biologischen Überwachung der Reinhaltung der Gewässer eingesetzt. Mit dem Aufbau chemisch-biologischer Labors in den Regierungsbezirken begann die systematische Erhebung der biologischen Gewässergüte in den Fließgewässern und Seen.

1974 wurden das Landesamt für Wasserversorgung und Gewässerschutz und die Landesstelle für Gewässerkunde zum neuen Landesamt für Wasserwirtschaft vereint. Die Fachaufgaben der Wasserversorgung, des Gewässerschutzes, der Gewässerkunde sowie des Hochwassernachrichtendienstes und des Lawinenwarndienstes wurden unter einem Dach zusammengefasst. Ab 1978 richteten auch die Wasserwirtschaftsämter eigene Labors ein. Seit 1980 werden biologische und chemische Untersuchungsprogramme verbindlich festgelegt und im Handbuch technische Gewässeraufsicht jährlich fortgeschrieben.

Die Umweltbewegung in den 1970er Jahren blieb nicht ohne Wirkung auf Struktur und Aufgaben der Gewässerkunde. Verschmutzung, schwindende Ressourcen, Ausbau der Kernkraft, die „neuartigen Waldschäden“, die Versauerung der Gewässer in den 1980er Jahren, die Altlastenproblematik, der Treibhauseffekt und der sich abzeichnende Klimawandel bedingten eine Reihe von Untersuchungs- und Messprogrammen. So konnte mit Hilfe eines biologischen Indikationssystems erstmals im Jahr 1992 eine Karte zur Gewässerversauerung entwickelt und das Thema Versauerung der Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden.

Mit der Gründung des Staatsministeriums für Landesentwicklung und Umweltfragen sowie 1972 des Landesamtes für Umweltschutz folgte Bayern den gesellschaftlichen Entwicklungen. Seit 1993 ist auch die Wasserwirtschaft einschließlich der Gewässerkunde nicht mehr Teil der Bauverwaltung, sondern Teil der Umweltverwaltung. In der letzten großen Verwaltungsreform wurden schließlich 2005 das Landesamt für Umweltschutz, das Landesamt für Wasserwirtschaft und das Geologische Landesamt unter dem neuen Landesamt für Umwelt (LfU) vereint. Klimawandel, Wasserrahmenrichtlinie und Gewässerkundlicher Dienst sind die Aufgaben der gleichnamigen neuen Abteilung 8 des LfU.

1.5 Biologische und chemische Überwachung der Oberflächengewässer

Die Beschreibung der Auswirkungen von Belastungen auf die Lebensgemeinschaften der Bäche und Flüsse (Saprobie) wurde in der ersten flächendeckenden Gewässergütekarte für Bayern im Jahr 1969 sehr anschaulich dargestellt. Sie wurde alle drei Jahre fortgeschrieben und dokumentiert in beeindruckender Weise die stetigen Verbesserungen vor allem in der Abwasserbehandlung. 1973 waren lediglich 50 % der Gewässerstrecken gering belastet (dunkelgrüne Farbe) oder unbelastet (blau), 2001 stieg deren Anteil auf fast zwei Drittel. In der gleichen Zeit sank der Anteil stark verschmutzter Gewässer (gelb) von fast einem Viertel auf 1,2 % (s. Abb. 3).

Untersuchungen von Wasserpflanzen und Algen (Makrophyten, Phytobenthos und Phytoplankton) zeigen, dass heute der Anteil von mit Pflanzennährstoffen belasteten Fließgewässern erheblich größer ist als derjenige Anteil, der mit organisch leicht abbaubaren Stoffen belastet ist. Mit zunehmender Kanalisation und Abwasserreinigung verminderte sich die organische Belastung immer deutlicher. Weil die Pflanzennährstoffe Phosphor

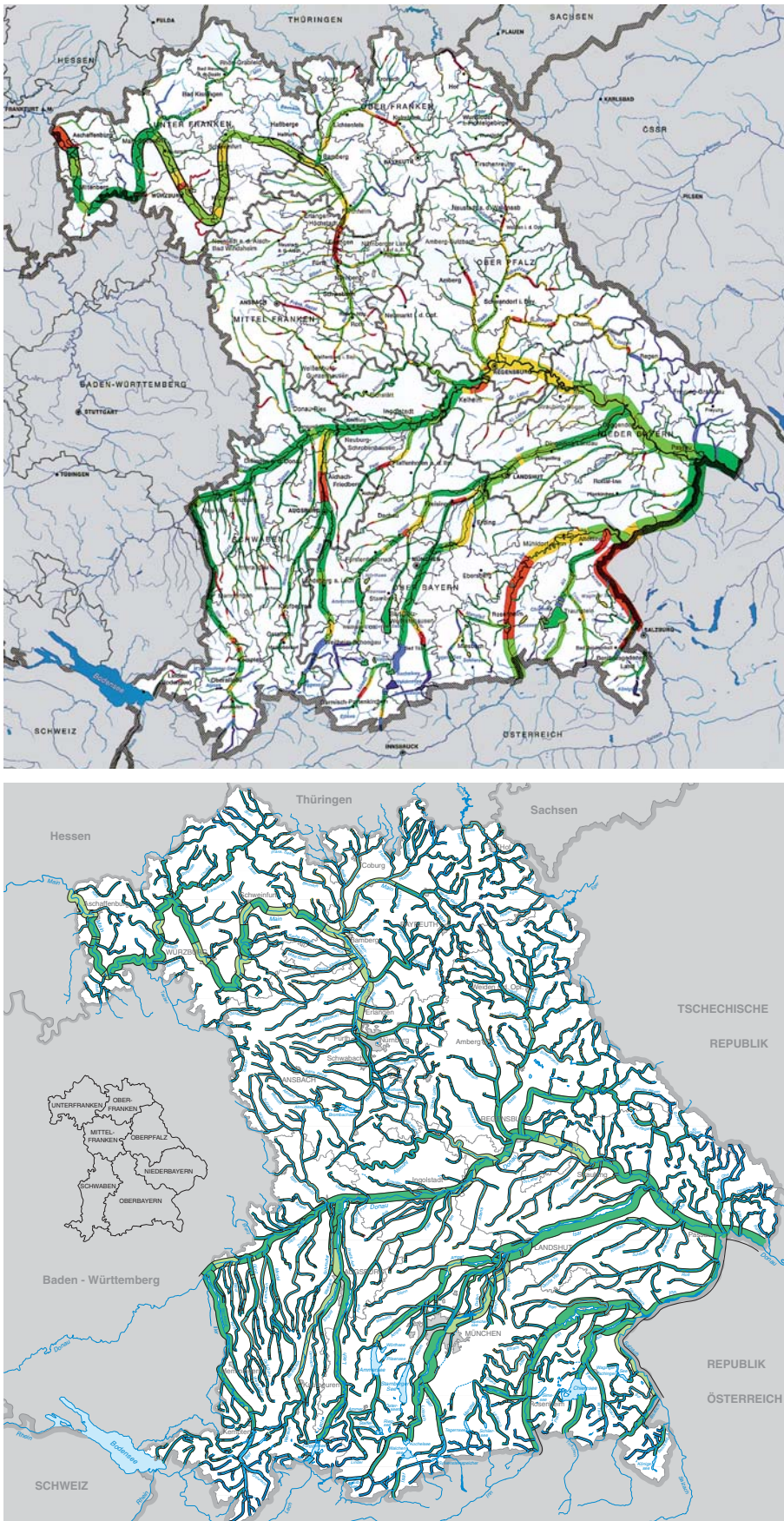


Abbildung 3
Gewässergüte in Bayern 1973 (oben) und 2001 (unten)
Water quality in Bavaria 1973 (top) and 2001 (bottom)

und Stickstoff zunächst nur ungenügend in den Kläranlagen zurückgehalten wurden, machten sich diese Stoffe in den Gewässern durch verstärktes Pflanzenwachstum bemerkbar. Die verbesserte Abwassertechnik mit weiteren Reinigungsstufen, das Verbot von Phosphaten in Waschmitteln Anfang der 1980er Jahre und das völlige Fernhalten von Abwässern aus den Seen (Ringkanalisation) führten zu drastischen Verbesserungen.

Die chemische Überwachung konzentrierte sich zunächst auf die Sauerstoffverhältnisse der Gewässer. Sauerstoffmangelsituationen und in der Folge Fischsterben traten noch bis Anfang der 1980er Jahre häufig und in vielen Gewässern auf. An bedeutenden Messstellen wurden im 14-tägigen Rhythmus Sauerstoff-, Nährstoff- und Salzverhältnisse gemessen. Am Main wurde ein automatischer Gütewarndienst, basierend auf kontinuierlicher Messung von Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert installiert.

Mit der rasanten Entwicklung der Analytik können immer mehr Stoffe mit höherer Genauigkeit nachgewiesen werden. Während früher chlorierte Lösungsmittel oder chlorhaltige Pflanzenschutzmittel (PSM) im Mittelpunkt standen, können heute selbst polare Abbauprodukte von Arzneimittelwirkstoffen oder PSM nachgewiesen werden. Neben dem Monitoring bekannter Substanzen, das die Grundlage für die Bewertung des chemischen Zustands der Oberflächengewässer darstellt, hat die technische Gewässeraufsicht immer auch die Erfassung bisher nicht bekannter stofflicher Belastungen im Auge. So ist in jüngster Zeit unter anderem die Stoffgruppe der perfluorierten Tenside (PFT) in den Fokus der Überwachung gerückt. Diese Ergebnisse über „neue Stoffe“ sind eine wichtige Grundlage für die ökotoxikologische Bewertung und tragen nicht selten dazu bei, dass Stoffe und Stoffgruppen einer gesetzlichen Regelung unterworfen werden.

Chemische Stoffe werden nicht nur in der Wasserphase, sondern auch in Umweltmedien wie Schwebstoffen, Sedimenten oder Fisch- und Muschelgewebe untersucht. Biologische Wirkttests zeigen an, in welchen Gewässern aquatische Lebewesen nachteilig beeinflusst

sein können. Diese Wirktests werden zur Gesamtbeurteilung häufig mit Einzelstoffuntersuchungen kombiniert und lassen sich als biologische Frühwarnsysteme zur kontinuierlichen Gewässerüberwachung einsetzen (LFU 2009).

1.6 Überwachung der Grundwasserqualität

Trinkwasser wird in Bayern zu etwa 93 % aus dem Grundwasser gewonnen. Die Grundwasserqualität wird intensiv überwacht, um im Sinne der Vorsorge und Qualitätssicherung frühzeitig negative Einflüsse erkennen und Stoffeinträge in das Grundwasser vermeiden zu können.

Die Qualität des Grundwassers wurde lange Zeit unter hygienischen Gesichtspunkten gesehen, also im Hinblick auf Krankheiten und Seuchen durch verunreinigtes Trinkwasser. Bereits in den 1870er Jahren hat sich in München eine Kommission mit Fragen der Trinkwassergüte beschäftigt, in anderen bayerischen Städten wie Nürnberg und Bamberg fanden ähnliche Aktivitäten statt.

Als Folge der Industrialisierung nach dem Zweiten Weltkrieg entstanden eine Vielzahl von Boden- und Grundwasserverunreinigungen durch versickernde oder ausgetretene Schadstoffe. Der Fokus der Untersuchungen lag zunächst in den 1960er Jahren auf Mineralölprodukten. In den 1970er Jahren rückten Untersuchungen auf organische Halogenverbindungen und deren Gefahren in den Fokus. Nahezu zeitgleich stieg auch das Problembewusstsein im Hinblick auf landwirtschaftlich bedingte diffuse Stoffeinträge in das Grundwasser wie z.B. Nitrat und Pflanzenschutzmittel.

Die Überwachung der Grundwasserbeschaffenheit erfolgte früher je nach Fragestellung meist einzelfallbezogen. Erst Anfang der 1980er Jahre begann der Aufbau eines weitmaschigen Landesmessnetzes mit anfangs 58 und später rund 280 Messstellen. Jetzt konnten wichtige Qualitätsparameter wie Nitrat, Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle sowie weitere trinkwasserrelevante Größen erstmals flächendeckend einheitlich überwacht werden. Die Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie machten im Jahr 2006 eine grundlegende Messnetzneuordnung erforderlich. Im aktuellen Landesmessnetz Grundwasserbeschaffenheit befinden sich rund 500 nach Landnutzung und Hydrogeologie für Bayern repräsentative Messstellen, an denen mehr als 200 Stoffe regelmäßig laboranalytisch überwacht werden.

In den 1980er Jahren schreckte das Waldsterben die Öffentlichkeit auf. Große Teile des Baumbestandes waren durch schwefelhaltige Abgase gefährdet. Zur Untersuchung der beobachteten „neuartigen Waldschäden“ und der Versauerung der Waldböden wurde ab 1987 ein integrierendes hydrologisches Messnetz (MSGw) eingerichtet, das bis heute an derzeit 7 Standorten die Einträge von Stoffen aus der Atmosphäre in den Wasserkreislauf erfasst. Dazu wird nicht nur das Niederschlagswasser beprobt, sondern auch der weitere Weg dieser Stoffe über das

Sickerwasser bis in das Grundwasser sowie in benachbarte Fließgewässer und Brunnen der öffentlichen Trinkwasserversorgung beobachtet. Neben Stoffeinträgen aus der Luft (atmosphärische Deposition) werden auch Stoffeinträge erfasst, die durch die land- oder forstwirtschaftliche Nutzung der Böden verursacht werden. Derzeit lassen sich so auch die Auswirkungen des sturm- und schädlingsbedingten Waldumbaus auf die Stoffflüsse der Wassereinzugsgebiete an einigen Messstandorten beobachten.

2 Gewässerkunde heute

Die Gewässerkunde beobachtet und untersucht die Situation der oberirdischen Gewässer und des Grundwassers hinsichtlich Wasserqualität und -menge. Sie beschreibt den Zustand und die möglichen künftigen Veränderungen der Fließgewässer, Seen, des Grundwassers und ihrer Lebensräume samt all ihrer Einflussfaktoren. Damit liefert sie die Grundlagen für die staatliche Daseinsvorsorge und die nachhaltige Entwicklung der Gewässer und dient der Verfolgung der heutigen drei Hauptziele der Wasserwirtschaft:

- Das Wasser als Bestandteil des Naturhaushalts und als Lebensraum für Tier und Pflanze schützen.
- Dem Menschen eine verantwortungsvolle Nutzung des Wassers ermöglichen.
- Vor den Gefahren des Wassers schützen (vgl. STMUGV 2005).

2.1 Quantitative Gewässerkunde der Oberflächen- und des Grundwassers

Die Weiterentwicklungen und der Ausbau der Messnetze sollen vor allem die Qualität und die aktuelle Verfügbarkeit der Messdaten bei gleichbleibender Zahl der Stationen erhöhen. Bis in die jüngste Vergangenheit waren viele Pegel noch mit Schreibgeräten ausgestattet. Heute werden die Daten zeitnah und zuverlässig online in zentrale Datenbanken übertragen, ausgewertet und publiziert (Abb. 4).



Abbildung 4
Elektronischer Datensammler eines heutigen Pegels
Digital electronic equipment of a modern gauging station

Der Hochwasserwarndienst war von je her einer der wichtigsten Dienste der quantitativen Gewässerkunde. Es waren u.a. die Hochwasserkatastrophen 1999 und 2005, die den jüngsten Anstoß zu Weiterentwicklungen und zum Ausbau der Messnetze gaben. Moderne Informationstechnologie wurde im Hochwassernachrichtendienst immer zeitnah eingesetzt. Seit 1998 ist der Hochwassernachrichtendienst mit den aktuellen Pegelständen und Abflüssen im Internet vertreten (www.hnd.bayern.de). Das Hochwasser 1999 war Anlass für den Aufbau eines rechnergestützten Vorhersagesystems für alle größeren bayerischen Flüsse. Hierfür wurde zusammen mit dem Deutschen Wetterdienst ein Online-Niederschlagsmessnetz eingerichtet, das derzeit 120 Landesstationen und 240 DWD-Stationen umfasst. Nach den Erfahrungen mit Messwertausfällen beim Hochwasser 1999 wurden in aufwändigen technischen Nachrüstungen alle wichtigen Pegel mit redundanter Sensorik und Übertragung ausgestattet. Die Zusammenarbeit mit den Nachbarländern wurde intensiviert. Die Vorhersagen für Donau und Inn werden heute mit einem einheitlichen hydrodynamischen Modell von Regensburg bis Wien stündlich berechnet. Oberwasserstände und Durchflüsse der Kraftwerke werden alle 15 Minuten online durch die Kraftwerksbetreiber aktualisiert. Das neue Hochwasserportal der Länder (www.hochwasserzentralen.de) demonstriert eindrucksvoll, in welchem Umfang und mit welcher Aktualität Pegelstände und Abflüsse heute in Deutschland beobachtet werden.

Je besser die Vorhersagen sein sollen, desto dichter muss das Niederschlagsmessnetz sein. Die hohe räumliche Variabilität des Niederschlags und der Bedarf, auch kleinräumige Niederschlagsereignisse auflösen zu können, erfordern eine stetige Verdichtung der Messnetze. Mittlerweile werden im operationellen Datendienst automatische, hoch auflösende Pluviometer verwendet, die ihre Daten in Echtzeit per Datenfernübertragung an eine zentrale Datenbank melden, wo sie weiter verarbeitet werden. Die Herausforderung für den Hochwassernachrichtendienst besteht darin, frühzeitige und längerfristige Hochwasservorhersagen zu erstellen. Daher werden Fernerkundungs- und Vorhersagedaten mit Bodenmessungen (z.B. kalibrierte Wetterradarbilder) verknüpft, um bessere Flächeninformationen zu bekommen. Die aktuellen Niederschlagsinformationen und Niederschlagsvorhersagen werden genutzt, um mit Niederschlags-Abfluss-Modellen Vorhersagen für die Wasserstände und Abflüsse der Pegel zu berechnen.

Auch im Grundwassermessnetz geht der Trend in Richtung zu mehr Qualität und höherer Verfügbarkeit. Bis 1990 stieg die Zahl der von der Wasserwirtschaftsverwaltung beobachteten Messstellen von vormals 268 auf 2.424. Nach einer systematischen Neuordnung ist geplant, das Landesmessnetz Grundwasserstand als Grundnetz im Endausbau bis 2011 mit 625 Messstellen zu betreiben und das Landesmessnetz Quellen bis 2013 mit 120 Stationen. Darüber hinaus werden weitere Messstellen in Sonder- und Verdichtungsnetzen geführt.

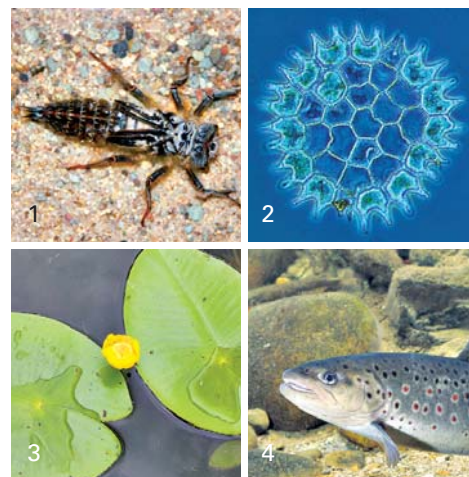
Beträchtliche Schäden durch hochstehendes Grundwasser beim Pfingsthochwasser 1999 verstärkten den Ruf nach aktuellen Informationen über die Grundwasserstände und deren Bereitstellung im Internet. Es wurde begonnen, auch die Grundwassermessstellen nicht nur mit Datensammlern, sondern auch mit Datenfernübertragung auszustatten. Erstmals im Jahr 2001

konnten Grundwasserstände Südbayerns online im Internet bereitgestellt werden. Bis zum Jahre 2011 sollen mehr als die Hälfte der Stationen des Landesmessnetzes online verfügbar sein.

Die Gewässer vor allem aus dem alpinen Bereich führen nicht nur Wasser mit sich, sondern auch einen nicht unerheblichen Anteil an festen Bestandteilen von Sand bis Schluff, wobei nicht nur die festen Partikel selbst, sondern auch Schadstoffe, die an die Partikel gebunden sind, interessieren. Schwebstoffe werden an insgesamt 40 Messstellen regelmäßig gemessen.

2.2 Europäische Wasserrahmenrichtlinie

Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) trat im Jahr 2000 in Kraft und ist ein Meilenstein auf dem Weg zu einem Gewässerschutz über Grenzen hinweg. Sie betrachtet und bewertet die Gewässer (Oberflächengewässer und Grundwasser) stärker als bisher als natürliche Einheiten, modernisiert und vereinheitlicht das europäische Wasserrecht und setzt den EU-Mitgliedsstaaten ein klares Ziel: Bis 2015 sollen die Gewässer in einem „guten Zustand“ sein. Die Schritte und der Weg dorthin sind mit Fristen für alle Mitgliedsstaaten vorgegeben (LFU 2008b).



		Beispiele
Ökologischer Zustand	Biologische Komponenten	
	• Wirbellose Kleintiere (Makrozoobenthos) • Frei schwebende Algen (Phytoplankton) • Wasserpflanzen, festsitzende Algen (Makrophyten/Phytobenthos) • Fische	Libellenlarven (1) Grünalge (2) Teichrose (3) Bachforelle (4)
Chemischer Zustand	Gewässereigenschaften	
	• Chemisch-physikalische Grundparameter • Gewässerstruktur und -dynamik (Hydromorphologie)	Sauerstoffgehalt, pH-Wert Beschaffenheit der Gewässersohle
	Schadstoffe	Pflanzenschutzmittel, PCB, Schwermetalle

Abbildung 5

Gewässerüberwachung nach WRRL: Betrachtet werden der ökologische und der chemische Zustand. Der ökologische Zustand berücksichtigt vier Organismengruppen und verschiedene Gewässereigenschaften. *Surface-water monitoring according WFD: the ecological and chemical status is considered. The ecological status is composed of four groups of biological organisms (so-called biological quality elements) and various supporting (physico-chemical and hydromorphological) characteristics of rivers and lakes.*

Mit der EG-Wasserrahmenrichtlinie wurde die Gewässerüberwachung erneut grundlegend reformiert. Bei Fließgewässern und Seen ermöglicht die ganzheitliche Betrachtung der Lebensgemeinschaften heute eine umfassende Bewertung des ökologischen Zustands und löst die bisherige belastungsorientierte Indikation ab. Hierzu wurden in den letzten Jahren neue Untersuchungsmethoden, vor allem in der Gewässerbiologie entwickelt (s. Themenkasten, Abb. 5). Die Gewässerlebewesen werden möglichst umfassend aufgenommen und ihr Umfeld chemisch-physikalisch und hydromorphologisch beschrieben. Zur Beurteilung des ökologischen Zustands werden vier biologische Qualitätskomponenten betrachtet:

- Makrozoobenthos (Wirbellose Kleintiere im Substrat),
- Makrophyten und Phytobenthos (festsitzende Pflanzen und Algen),
- Phytoplankton (frei schwebende Algen) und
- Fische.

Neu ist auch, dass sich die Bewertung künftig immer auf den Gewässertyp und seine Referenzbedingungen bezieht. Für einen schnell fließenden Gebirgsbach wird ein anderer Maßstab angesetzt als für einen träge dahinfließenden Fluss der Tiefebene.

Fische werden erst seit kurzer Zeit als Indikatoren für den Gewässerzustand verwendet (Abb. 6). Sie zeigen in erster Linie Veränderungen der Gewässerstruktur und Fließverhältnisse in Bächen und Flüssen an. In Bayern werden die Fischuntersuchungen von einer Arbeitsgruppe, bestehend aus den Fachberatungen für Fischerei der Bezirke, dem Institut für Fischerei der Landesanstalt für Landwirtschaft und dem LfU durchgeführt und bewertet. An einigen Stellen unterstützt der Landesfischereiverband Bayern aktiv die Untersuchungen. Die Befischungsergebnisse können direkt für weitere Anforderungen, z.B. für die Umsetzung der FFH-Richtlinie, verwendet werden, so dass nicht nur die Fische, sondern auch die eingesetzten Ressourcen geschont werden.

Neben den biologischen Erhebungen (Abb. 7) werden auch Schadwirkungen von Chemikalien berücksichtigt. Hierzu werden Flüsse und Seen auf Industrie- und Agrarchemikalien untersucht und die Messergebnisse mit ökotoxikologisch abgeleiteten Umweltqualitätsnormen verglichen. Nur wenn „Biologie“ und „Chemie“ in Ordnung sind, kann der „gute Zustand“ bescheinigt werden.



Abbildung 6
Fische als zusätzlicher Indikator für den Gewässerzustand (hier Äsche)
Fishes as indicators of the status of waters (here: grayling)



Abbildung 7
Biologische Wirktests – hier Algentest in der Gewässergüte-Messstation Bad Abbach/Donau – geben Rückschlüsse auf die Belastung mit Schadstoffen.
Biological effect monitoring indicates pressures caused by hazardous substances - here: algae testing system in the water-quality monitoring station Bad Abbach / Donau

Für die Bewertung des Grundwassers nach der Wasserrahmenrichtlinie werden der mengenmäßige und der chemische Zustand (Grundwasserbeschaffenheit) betrachtet. In beiden Fällen liefern die entsprechenden Messnetze des gewässerkundlichen Dienstes die Grundlage der Untersuchungen.

Der mengenmäßige Zustand wird derzeit in Bayern mit Hilfe von 230 der insgesamt 650 Grundwasserstands- und Quellschüttungsmessstellen systematisch überwacht. Die langfristige Entwicklung der gemessenen Grundwasserstände stellt dabei neben wasserwirtschaftlichen Bilanzbetrachtungen ein wichtiges Bewertungskriterium für die Wasserrahmenrichtlinie dar.

Der chemische Zustand wird auf der Basis der 500 Messstellen des Landesmessnetzes Grundwasserbeschaffenheit überwacht und liefert ein repräsentatives Bild der Belastungssituation in Bayern. Jede Messstelle wird mindestens einmal jährlich auf die von der Wasserrahmenrichtlinie vorgegebenen chemischen Parameter beprobt. Darunter befinden sich neben weiteren Messgrößen so wichtige Schadstoffe und Stoffgruppen wie Nitrat, Pflanzenschutzmittel und Schwermetalle. Für die Wasserrahmenrichtlinie und die Bewertung des chemischen Zustands ist in Bayern insbesondere Nitrat von Bedeutung, das regional erhöhte Werte zeigt. Zurückzuführen ist dies vor allem auf die Landwirtschaft und „diffuse Einträge“ über das Sickerwasser in das Grundwasser. In belasteten Bereichen sind Maßnahmen zur Verbesserung des chemischen Zustands zu veranlassen. Die Wirksamkeit dieser Maßnahmen wird zukünftig mit Hilfe eines eigenen Messnetzes und eines gesonderten Monitoringprogramms („Operatives Monitoring“) überwacht.

Auch die Wassertemperatur wird beobachtet, derzeit mit rund 70 Messstellen. Vor allem in trockenen und heißen Sommern wie 2003 werden diese Daten häufig nachgefragt.

Die Ergebnisse der Untersuchungen nach der Wasserrahmenrichtlinie wurden Ende 2009 in den Bewirtschaftungsplänen und Maßnahmenprogrammen der in Bayern vorhandenen Flussgebiete zusammengefasst und veröffentlicht (STMUG 2009).

Im Jahr 2007 wurde von der EU die Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (HWRMRL) eingeführt. Die Gewässerkunde liefert hierzu vor allem die flächendetaillierte Ermittlung der Hochwasserquantile. An der Umsetzung der HWRMRL wird derzeit gearbeitet.

2.3 Klimawandel

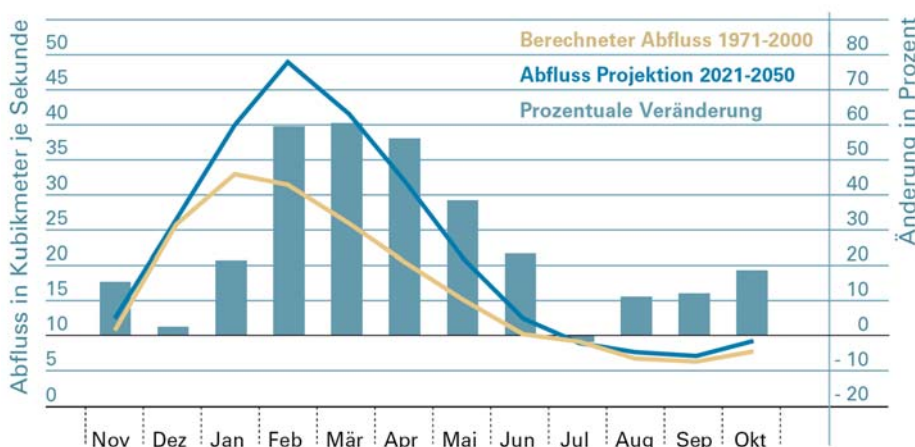
Unter Klimaforschern ist mittlerweile unstrittig, dass die beobachtete globale Temperaturerhöhung nicht nur den natürlichen Klimaeinflüssen und Klimaschwankungen zuzuschreiben, sondern als Folge des anthropogenen „Treibhauseffekts“ einzustufen ist. Die prognostizierte globale Temperaturzunahme der kommenden 50 bis 100 Jahre schwankt je nach Klimamodell und Emissionsszenario zwischen 2 °C und 6 °C. In Bayern wurden die Herausforderungen des Klimawandels frühzeitig erkannt. Bereits 1990 wurde der Forschungsverbund BayFORKLIM gestartet. Das Kooperationsvorhaben Klimaveränderung und Wasserwirtschaft (KLIWA) befasst sich seit 1999 mit den Auswirkungen der Klimaveränderung auf den Wasserhaushalt in Süddeutschland und den Konsequenzen für die Wasserwirtschaft. Im November 2007 wurde das Aktionsprogramm „Klimaprogramm 2020“ verabschiedet (STMUG 2007).

Zwischen Klima und Wasserkreislauf bestehen enge Zusammenhänge. Das bedeutet, dass sich veränderte Niederschlags- und Temperaturverhältnisse auf alle Prozesse im Wasserkreislauf auswirken. Eine Zunahme der Temperaturen bedeutet für den Wasserhaushalt zunächst eine Erhöhung der potenziellen Verduns-

zung besonders in den Sommermonaten, zusätzlich aber auch eine Erhöhung der Abflüsse im Winterhalbjahr, vor allem wenn höhere Wintertemperaturen und höhere Winterniederschläge zusammenwirken. Nimmt der Schneeanteil an den Niederschlägen ab und verringert sich in Folge das Speichervolumen in der Schneedecke, dann können die Niederschläge unmittelbar abfließen (LFU 2008a).

Für das Einzugsgebiet des Mains wurden mit Hilfe regionaler Klimamodelle in Verbindung mit Wasserhaushaltsmodellen erstmalig die Auswirkungen des Klimawandels auf die Hochwassergefahren und deren ökonomische Folgen in Bayern quantifiziert und analysiert. Für den Szenario-Zeitraum 2021 bis 2050 (Abb. 8) zeigen die Ergebnisse, dass sich insbesondere in den Wintermonaten November bis April der Temperaturanstieg und der Einfluss feuchter Westwetterlagen deutlich bemerkbar machen werden. Wärmere und niederschlagsreichere Winter, verbunden mit einer Zunahme extremer Ereignisse wie etwa Stürme oder Starkniederschläge, werden eine Verschärfung der Hochwassergefahr zur Folge haben. Die Modellrechnungen verdeutlichen, dass vor allem kleinere und mittlere Hochwasserereignisse zunehmen, und dies ausgeprägt im Winterhalbjahr. Auch für den hundertjährigen Hochwasserabfluss ist mit einem Anstieg in einer Größenordnung bis 15 % zu rechnen.

Vor diesem Hintergrund wurde aus Vorsorgegründen für den Hochwasserschutz eine Anpassungsstrategie entwickelt, die zwar die mögliche Entwicklung der nächsten Jahrzehnte berücksichtigt, aber auch den bestehenden Unsicherheiten Rechnung trägt. Bei der Bemessung von Hochwasserschutzmaßnahmen wird deshalb der Lastfall Klimaänderung berücksichtigt. In Bayern wurde ein pauschaler Zuschlagfaktor von 15 Prozent auf bis zu 100jährige Hochwasserabflüsse eingeführt. Für 200jährige Hochwasserabflüsse wird der Zuschlag auf 7,5 Prozent halbiert. Bei höheren Jährlichkeiten wird auf einen Zuschlag verzichtet.



Datenquelle: Landesamt für Umwelt, Augsburg (Projekt KLIWA)

Abbildung 8

Zunahme des monatlichen Hochwasserabflusses in der Fränkischen Saale (Pegel Bad Kissingen) – Projektion für 2021–2050

Increase of monthly peak discharge in the river Fränkische Saale (gauging station Bad Kissingen) – projection for 2021–2050

Der Klimawandel wirkt sich auch auf den Grundwasserhaushalt und das Niedrigwassergeschehen aus. Während längerer Trockenperioden werden die Niedrigwasserabflüsse nahezu vollständig aus Grundwasser gespeist. Sinken die Grundwasserstände, so hat dies unmittelbare Auswirkungen auf die Niedrigwasserführung der Gewässer. Niedrigwasser kann bei größeren Flüssen, aus denen Kraftwerke Kühlwasser entnehmen, die Wassertemperatur erhöhen und damit die Wasserqualität negativ beeinflussen und die Stromerzeugung einschränken. Bei kleineren Flüssen mit umfangreichen Einleitungen aus Kläranlagen können in Niedrigwasserperioden verstärkt Qualitätsprobleme entstehen. Der „Jahrhundertsommer“ 2003 bot bereits einen Vorgeschmack auf die Situation trocken fallender Fließgewässer und Seen.

Untersuchungen an ausgewählten Pegeln bayerischer Flüsse der vergangenen 50 Jahre zeigten in den überwiegenden Fällen eine Erhöhung des Niedrigwasserabflusses im Jahresmittel. Diese wird größtenteils durch eine deutliche Zunahme des Niedrigwasserabflusses im Winter hervorgerufen. Demgegenüber sind die sommerlichen Trends an den meisten Pegeln uneinheitlich oder es konnten keine Veränderungen festgestellt werden. Nur an wenigen Flüssen wie der Iller (Pegel Sonthofen) sind die Niedrigwasserabflüsse im Zeitraum 1951 bis 2001 signifikant zurückgegangen. Von den untersuchten Einzugsgebieten liegen die Gebiete mit dem stärksten Rückgang der sommerlichen Niedrigwasserabflüsse am Alpenrand und im nördlichen Teil Bayerns.

Für die Zukunft (Projektionszeitraum 2021 bis 2050) deuten Wasserhaushaltsmodelle in Verbindung mit regionalen Klimamodellen auf eine weitere Verstärkung der bereits heute erkennbaren Saisonalität der Niedrigwasserabflüsse hin, d.h. die Abflüsse nehmen im Winter in der Tendenz weiter zu, im Sommer dagegen eher ab. Diese Befunde stehen im engen Zusammenhang mit der vorhergesagten Verschiebung der Niederschläge vom Sommer in den Winter. Hinzu kommt, dass häufigere Schneeschmelzen während des Winters die Abflüsse zusätzlich erhöhen werden. Neben einem absoluten Rückgang des sommerlichen Niedrigwasserabflusses wird zusätzlich von einer deutlichen Erhöhung von Anzahl und Dauer der Niedrigwasserperioden ausgegangen. Dies kann erhebliche wasserwirtschaftliche Auswirkungen haben. Erwärmen sich die Fließgewässer und sinken die Abflüsse in den Niedrigwasserperioden des Jahres zu stark, kann dies Konsequenzen für die Energiegewinnung haben, da Kühlwasser nicht mehr in ausreichender Menge zur Verfügung steht und das Wasservolumen in Speicherseen zurückgeht.

So musste im Hitzesommer 2003 die Leistung des Kernkraftwerks Isar bei Landshut gedrosselt werden, da die Gefahr bestand, dass die Isar durch das zurückgeleitete Kühlwasser auf mehr als 25 Grad erhitzt würde. Auch in der Schifffahrt erfordern extremere Abflussbedingungen, d.h. häufigere Hochwasser und eine Verschärfung der Niedrigwassersituation, Anpassungsmaßnahmen seitens der Nutzer und Betreiber der Wasserstraßen. Dies gilt insbesondere mit Blick auf den Einsatz immer größerer Schiffstypen mit entsprechendem Tiefgang.

Für Fließgewässer, die ihr Einzugsgebiet überwiegend im Gebirgsbereich haben, könnten sich merkliche Veränderungen in der Wasserführung ergeben. Wenn in höheren Lagen im Winter künftig geringere Wassermengen in der zurückgehenden Schneedecke gespeichert werden, nimmt deren puffernde Wirkung auf den Abfluss ab. Die Folgen wären weiter steigende Winterabflüsse und geringere Sommerabflüsse.

Um über die Niedrigwassersituationen aktuell und umfassend informieren zu können, wurde 2008 der Niedrigwasser-Informationsdienst (NID) eingeführt (www.nid.bayern.de). Der NID wird im Endausbau umfangreiche Informationen über tatsächliche und zu erwartende niedrige Wasserstände bzw. Abflüsse in oberirdischen Gewässern, Grundwasserstände und Quellschüttungen, Wassertemperaturen und Sauerstoffgehalte liefern.

3 Ausblick

200 Jahre Gewässerkunde bedeuten 200 Jahre Wandel von Aufgaben und Arbeitsschwerpunkten. 200 Jahre Gewässerkunde bedeuten aber auch 200 Jahre Beständigkeit im Erheben von Daten. Sie bedeuten stetige Weiterentwicklung des Messwesens, Steigerung der Genauigkeit sowie kontinuierlichen Aufbau moderner Datenhaltungs- und Auswertungssysteme.

All dies schafft die Grundlage, einen weiteren Schritt nach vorne zu wagen: den Weg von der Beschreibung zur vorsorgenden Prognose. Die Basis hierfür stellen die gesammelten Daten der vergangenen Jahrzehnte dar. Sie ermöglichen den Einsatz von Modellen, die einen Blick in die Zukunft gestatten. Ob Aussagen über die langfristigen Auswirkungen des Klimawandels, die Entwicklung der ökologischen Qualität von Gewässern oder zur kurzfristigen Vorhersage von Hoch- und Niedrigwasserereignissen gemacht werden – der Anspruch einer vorsorgenden und damit vorausschauenden Wasserwirtschaft stellt die größte Herausforderung der Zukunft dar.

Eine auf Nachhaltigkeit gegründete Wasserwirtschaftspolitik bedarf gesicherter Erkenntnisse über die Entwicklung des Wasserhaushalts – sowohl im Hochwasser wie auch im Niedrigwasser, in qualitativer wie in quantitativer Hinsicht – und der damit verknüpften Prozesse. Dies bedeutet für das gewässerkundliche Messwesen die Notwendigkeit eines Fortbestandes, aber auch einer beständigen Optimierung der Messnetze und -programme, der Messtechnik und der Datenverarbeitung.

Outlook

Two hundred years of Hydrological Service mean 200 years of change in terms of tasks and work fields. However, 200 years of Hydrological Service mean also 200 years of consistency in data collection. And they mean a steady improvement of measuring techniques, increased accuracy, and the continuous development of modern systems of data storage and evaluation.

All this provides the foundation to dare a next step ahead: the advance from the description of processes to predictions and precautionary actions based on the data that have been gathered over the past decades. Thus, models may be employed that open a glance into the future. Whether long-term impacts of climate change, assessments of developments in the ecological quality of waters, or short-term forecasts of floods and low-flow events are concerned – the requirements placed on precautionary and accordingly previewing water-resources management practices is one of the greatest challenges of the future.

A water policy based on sustainability needs reliable knowledge about the processes that govern the balance of water – in times of floods just like in times of low flows – in terms of quality and quantity and related processes. For hydrological measurements this means the need for steady optimization of networks and programmes, of methods and equipment, and of data processing.

Anschriften der Verfasser:

Prof. Dr. Ing. A. Göttle
Bayerisches Landesamt für Umwelt
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160, 86179 Augsburg

Dr. M. Altmayer
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienstort Hof
Hans-Högn-Straße 12, 95030 Hof/Saale

Dr. A. Vogelbacher
Bayerisches Landesamt für Umwelt, Dienststelle München
Lazarettstraße 67, 80636 München
alfons.vogelbacher@lfu.bayern.de

Literaturverzeichnis

LFU (2008a): Bayerns Klima im Wandel. – Reihe Umwelt Thema des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

LFU (2008b): Die Europäische Wasserrahmenrichtlinie und ihre Umsetzung in Bayern. Bestandsaufnahme 2004. – Informationsblatt des Bayerischen Landesamtes für Umwelt

LFU (2009): 100 Jahre technische Gewässeraufsicht. – In: Einblicke, Rückblicke 2008. Bayerisches Landesamt für Umwelt

LFW (1978): 100 Jahre Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft. Festschrift. – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 8

SCHILLER, H. (1983): Die Entwicklung des gewässerkundlichen Messwesens in Bayern. – Informationsbericht Nr. 3/83 des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft

STMUG (2007): Klimaprogramm Bayern 2020. – Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit

STMUG (2009): Bewirtschaftungsplan und Maßnahmenprogramm für den bayerischen Anteil der Flussgebietseinheit Donau, Rhein. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Dez. 2009

STMUGV (2005): Wasserland Bayern. Nachhaltige Wasserwirtschaft in Bayern. – Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz. 5. Auflage. München

VOLKERT, W. (1983): Handbuch der bayerischen Ämter, Gemeinden und Gerichte 1799-1980. – Beck, München

Uwe Grünewald

Zur Nutzung und zum Nutzen historischer Hochwasseraufzeichnungen

On the use of historical flood records

Die sorgfältige und umfassende Nutzung von Informationen über historische Hochwasser kann in vielfältiger Weise dazu beitragen, die Anfälligkeit unserer heutigen Gesellschaft gegenüber gefahrenbringenden Naturereignissen zu mindern. Die dadurch mögliche (hydrologische) Informationserweiterung erhöht einerseits die Zuverlässigkeit und Aussagekraft von Abflusszeitreihen. Andererseits trägt sie in nicht unwesentlichem Maße dazu bei, das immer wieder nachlassende öffentliche Bewusstsein für Risiken aus Hochwassern unterschiedlichster Entstehungsursachen zu erhöhen. Dazu ist neben einem verbesserten interdisziplinären Zusammenwirken der natur- und technikwissenschaftlichen Disziplinen auch eine verbesserte Zusammenarbeit von Hydrologen mit Historikern und Sozialwissenschaftlern erforderlich.

Schlagwörter: Historische Daten, Hochwasserbewusstseinsbildung, Hochwasserrisikomanagement, hydrologische Informationen, zeitliche Informationserweiterung

The careful and comprehensive use of historical flood information can contribute to reduce the vulnerability of today's society to dangerous natural phenomena. Better interdisciplinary cooperation of natural-scientific and technical disciplines with historians and social scientists is necessary. The possible gain in information increases the reliability and significance of river discharge time-series. More information also helps to raise the warning public awareness of flood risks.

Keywords: Chronological information enlargement, flood awareness, flood risk management, historical data, hydrological information

1 Ausgangssituation

Hochwasser (HW) sind das zufallsbehaftete Resultat der Überlagerung mehrerer hydrometeorologischer Ereignisse (z.B. Niederschlag und/oder Schneeschmelze) mit vielfältigen hydrologischen Zuständen (z.B. hohe Vorfeuchte und/oder großräumigem Bodenfrost) in den Gewässereinzugsgebieten (GRÜNEWALD 1998). Sie traten in der fernen und nahen Vergangenheit in unterschiedlicher Intensität, Ausprägung, Wirkung usw. auf und werden dies auch in der Zukunft in möglicherweise noch nie eingetretenen Wirkungskombinationen tun.

Unser Verständnis dieser komplexen Wirkungsgefüge ist nach wie vor gering. Als ein ohne Zweifel pragmatischer Ausweg zur Erfassung möglicher Gesetzmäßigkeiten bezüglich des Auftretens von extremen Hochwasserabflüssen wurden vor allem in der Ingenieurhydrologie und dem Wasserbau verschiedene Methoden der statistischen und stochastischen HW-Analyse entwickelt.

Auf der Basis möglichst langer (repräsentativer, homogener und konsistenter) Beobachtungsreihen der Abflüsse an einem Pegel wird dabei versucht, Hochwasserbemessungsabflüsse bestimmter Wiederkehrzeiten abzuleiten.

Meist sind jedoch die verfügbaren hydro-(meteo-)logischen Beobachtungsreihen zu kurz, als dass sich einerseits die Vielfalt und Komplexität der möglichen Zustände und Überlagerungssituationen in den Gewässereinzugsgebieten ausreichend widerspiegeln haben, andererseits erlaubt ihre Kürze nur selten eine Extrapolation auf die in den Regelwerken geforderten Bemessungswiederkehrintervalle von hunderten oder tausenden von Jahren. Demzufolge besteht seit längerem das Bestreben, zusätzliche Informationen über mögliche Ausprägungen vor allem von größeren Hochwassern zu erschließen und zu nutzen. Ein

Weg ist – neben der räumlichen und kausalen – die zeitliche Informationserweiterung auf der Grundlage von historischen Hochwasseraufzeichnungen wie Hochwassermarken oder Klimazeugenreihen – also solcher, die vor Beginn systematischer standardisierter und bis heute weitgehend lückenlos fortgeführter Messungen aufgezeigt, markiert oder aufgezeichnet wurden (z.B. DYCK et al. 1976, GRÜNEWALD 2006, GRÜNEWALD 2007) oder sich indirekt erschließen lassen.

Ein besonderer Nutzen historischer Hochwasseraufzeichnungen leitet sich darüber hinaus für die Verbesserung der Bewusstseinsbildung gegenüber den Hochwasserrisiken in allen Ebenen der Gesellschaft ab. Diese reicht von den (potentiell betroffenen) Bürgern über die (unterschiedlichen) Kommunalverwaltungen, (verantwortlichen) Behörden bis hin zu den (oft nur für kurze Zeiträume gewählten) Politikern und (teilweise einseitig interessengesteuerten) Entscheidungsträgern, welche für die Aufrechterhaltung und Verbesserung von HW-Vorsorge und -bewältigung in den Flusseinzugsgebieten, Kommunen und Städten sowie Ländern verantwortlich sind. Sowohl zur Verbesserung von Eigenvorsorge und Risikovorsorge als auch der Flächen- und Bauvorsorge im Kreislauf des HW-Risikomanagements (DKKV 2003) sind Kenntnisse über historische Hochwasseraufzeichnungen sowie deren Einordnung in den hydrologischen und klimatologischen aber auch gesellschaftlichen Kontext von größtem Wert.

2 Umfassende und vertrauenswürdige Daten als Voraussetzung für zuverlässige Methoden der wasserwirtschaftlichen Planung, Bemessung und Bewirtschaftung

Eine moderne wasserwirtschaftliche Planung, Bemessung und/oder Bewirtschaftung orientiert auf die Nutzung möglichst langer homogener und konsistenter hydrologischer Beobachtungs-

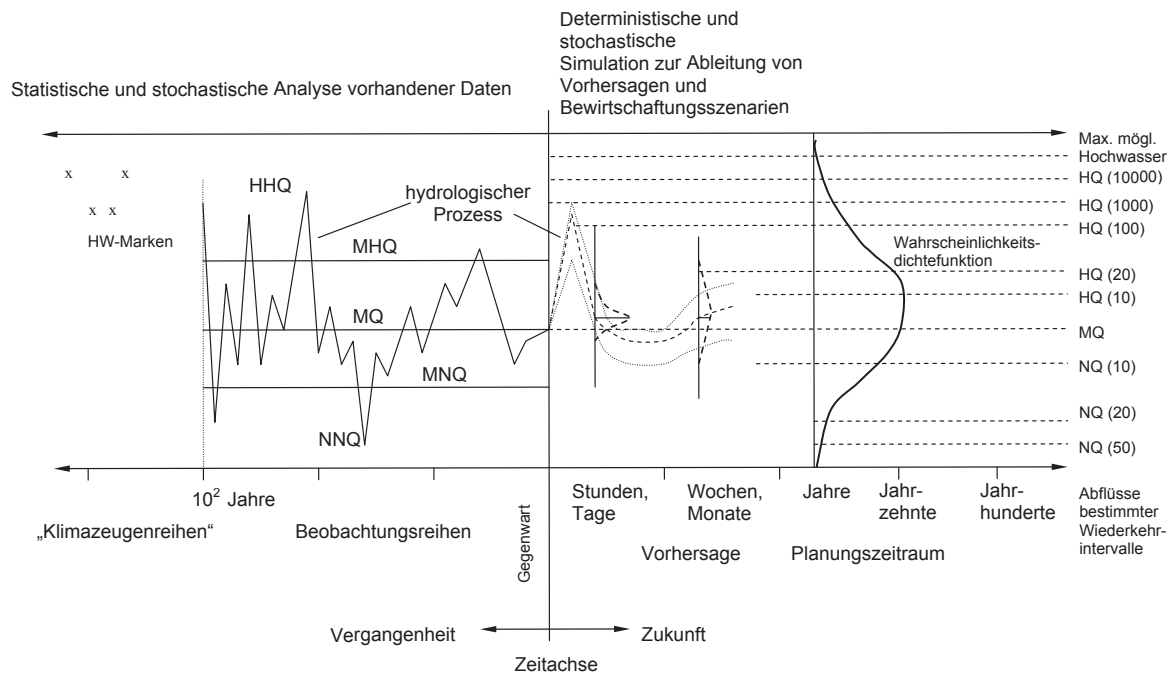


Abbildung 1

Hydrologische Informationen für die Unterstützung der Planung, Bemessung und Bewirtschaftung von wasserwirtschaftlichen Systemen (verändert nach DYCK & PESCHKE 1995).

Hydrological information for planning, dimensioning, and management of water-resources systems (modified from DYCK & PESCHKE 1995)

reihen. Abbildung 1 vermittelt einen Eindruck über die Informationen und Methoden, die aus hydrologischer Sicht dabei zur Unterstützung verwendet werden. Beobachtungen über hydrologische Abläufe liegen in vielen Teilen Mitteleuropas schon seit mehreren Jahrzehnten vor. Bei solchen Reihenlängen lassen sich die Mittelwerte, z.B. MQ, schon relativ gut ableiten bzw. besitzen die jeweiligen „Gewässerkundlichen Hauptzahlen“, z.B. NNQ bzw. HHQ (niedrigster bzw. höchster in der Beobachtungsperiode gemessener Abfluss) schon eine gewisse Aussagekraft. Auf der Basis von statistischen und stochastischen Analysen können die auch das Wasser-Dargebot charakterisierenden Kennwerte abgeleitet und die der Aufgabenstellung entsprechenden Parameter mittels deterministischer oder stochastischer Simulationsmodelle bestimmt werden.

Bei der wasserwirtschaftlichen Planung hängt der zu berücksichtigende Zeitbereich von den jeweiligen Planungshorizonten ab. Je nach Detailliertheit und Art der wasserwirtschaftlichen Planung wird sich dabei ein unterschiedlicher Datenbedarf ergeben (GRÜNEWALD 2001). Für erste Übersichten reichen oft Grobinformationen über die Wasserhaushaltsgrößen eines Gebietes auf der Basis von Jahresmittelwerten vorliegender Beobachtungsreihen aus. Aber bei der Bewirtschaftungsplanung genügen diese nicht mehr. Es müssen Kennwerte des Wasserhaushaltes von Einzeljahren, Halbjahren, einzelnen kritischen Monaten und von Hochwassercharakteristika bestimmter Häufigkeit ermittelt werden.

Bei der Bemessung wasserwirtschaftlicher Anlagen und Systeme sind deren extreme Belastungen abzuschätzen und möglichst mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit zu verknüpfen. Je nach Bedeutsamkeit der Anlagen, der von ihnen ausgehenden Gefahren und Risiken usw. sind dabei sehr kleine Überschreitungswahrscheinlichkeiten zu ermitteln. So wird beispielsweise in

Deutschland nach der überarbeiteten DIN 19700 (2004) die Betrachtung von Wiederkehrzeiten bis 10.000 Jahren gefordert, welche sehr große Extrapolationen darstellen.

Speziell bei der Bemessung auf der Basis von Jahres-Hochwasserscheitel-Werten $HQ(a)$ dürfte streng genommen unter Verwendung einer Beobachtungsreihe von n Jahren und einem Kollektiv von $n \cdot HQ(a)$ ohne Kenntnis der „wahren“ statistischen Verteilungsfunktion nur Aussagen bis zum n -jährlichen Ereignis abgeleitet – also nur interpoliert – werden.

Meist sind aber Aussagen über die Größe zu erwartender viel seltener HQ(T) mit Wiederkehrintervallen $T \gg n$ gefordert. Dann muss weit über den beobachteten Bereich hinaus extrapoliert werden. Um die Fehlermöglichkeiten einzuschränken, ist dafür zunächst eine gründliche und umfängliche Prüfung und Analyse der verwendeten HQ-Werte erforderlich (siehe z.B. DYCK et al. 1976), ehe eine entsprechende Wahrscheinlichkeitsverteilung angepasst und statistische Extrapolationen („landläufig empfohlen“ maximal $3 \cdot n$, siehe z.B. DVWK (1999)) vorgenommen werden können. KLEEBERG & SCHUMANN (2001) schlagen eine „Konvention zur Ableitung von Hochwasserscheitelwerten geringer Überschreitungswahrscheinlichkeit“ auf der Basis von regionalisierten Untersuchungen vor, der sicherlich noch weitere folgen werden.

Besonders drastisch kritisieren MERZ & BLÖSCHL (2008) die „Passivität der Ingenieurhydrologie, die eigentlich aus einem reichen Erfahrungsschatz von Prozesskenntnis und Methoden hätte schöpfen können“, aber statt dessen in diesbezügliche „Regelwerke ihren Schwerpunkt auf statistische Methoden gelegt hat, mit nahezu vollständiger Vernachlässigung der zugrundeliegenden hydrologischen Prozesse. Plotting Positions, Wahl der Verteilungsfunktion, Methode der Parameterschätzung, die Wahr-

scheinlichkeit von Ausreißern sind auch im DVWK-Merkblatt 251 (DVWK 1999) das Zentrum des Interesses. Die Abflussreihen sind in der Regel zu kurz, nicht stationär, fehlerbehaftet, entstammen nicht der gleichen Grundgesamtheit etc. Obwohl dies schon lange bekannt ist, wurde in der Regel auf weitere statistische Tests und Analysen gesetzt, in ähnlicher Weise wie sich Baron Münchhausen an seinen eigenen Haaren aus einem Sumpf gezogen haben will“.

Unabhängig von dieser grundsätzlichen Kritik sind zur Bemessung seltener HQ(T) zusätzliche Informationen unter Berücksichtigung weiterer hydrologischer Beobachtungen und Mechanismen erforderlich.

Prinzipiell bestehen dabei die drei Möglichkeiten der zeitlichen, der räumlichen und der kausalen Informationserweiterung (z.B. GRÜNEWALD 2006).

Die häufigste und bekannteste Methode der zeitlichen Informationserweiterung dürfte die Einbeziehung historischer Hochwasserinformationen sein. Bei der Berücksichtigung historischer HQ_h können verschiedene Ansätze verwendet werden, die sich durch das Gewicht unterscheiden, welches den Daten der n-jährigen Beobachtungsreihe und den historischen Daten zugeordnet wird (siehe Abschnitt 3).

Bei der räumlichen Informationserweiterung wird über die Betrachtung der Beobachtungsreihe nur an einem Pegel hinausgegangen und versucht, diese mit Ergebnissen von Wahrscheinlichkeitsanalysen innerhalb einer sogenannten „hochwasserhohen Region“ zu verknüpfen. Auch hier gibt es insbesondere mit den verschiedenen „Bezugs-HQ-Verfahren“ (z.B. HANSEL 1970, DYCK et al. 1976) seit längerem geeignete und bewährte Berechnungsmethoden.

Die Methoden und Verfahren der kausalen Informationserweiterung reichen von der Einbeziehung der Information teilweise länger beobachteter Niederschlagsreihen z.B. mit dem GRADEX-Verfahren (LANG & OBERLIN 1994) über die Verwendung von deterministischen Niederschlags-Abfluss-Modellen zur Transformation von Bemessungsniederschlägen in Bemessungsabflüsse bis hin zur kontinuierlichen stochastischen (z.B. BEARD 1967, QUIMPO 1968) bzw. gekoppelten stochastischen und deterministischen Simulation von hochwasserauslösenden (Niederschlags-)Impulsen (z.B. TREIBER 1975) und Durchflüssen (z.B. GRÜNEWALD 1977). Bei der Anwendung deterministischer Methoden besteht jedoch einerseits das Problem der statistischen Zuordnung der Extreminiederschläge, andererseits existieren nur unzureichende Kenntnisse über die Gültigkeit der Modellansätze bei extremen Abflusssituationen in den Gewässereinzugsgebieten.

Bei der Bewirtschaftung von Wasserressourcen-Systemen geht es speziell darum, Methoden und Verfahren bereitzustellen, die ausweisen, wie Veränderungen in wasserwirtschaftlichen Systemen vorzunehmen sind, um mit den in diesen Systemen vorhandenen natürlichen Wasserressourcen den (volkswirtschaftlich gerechtfertigten) Wasserbedarf der Nutzer zu befriedigen und den erforderlichen Schutz vor schädigenden Auswirkungen des Wassers unter minimaler Inanspruchnahme von (gesellschaftlichen) Mitteln zu gewährleisten.

„Wasserbewirtschaftung“ ist folglich durch das Ineinandergreifen von kurz-, mittel- und langfristigen Steuerungs-, Bewirtschaftungs- und Planungsinstrumentarien in der Verknüpfung von Wassermengen- und -beschaffenheitsproblemen unter Berücksichtigung des Zufallscharakters der hydrologischen, meteorologischen, klimatologischen usw. Prozessabläufe charakterisiert (GRÜNEWALD 2001).

3 Methoden der zeitlichen Informationserweiterung durch Nutzung historischer Hochwasserinformationen

Insbesondere zur Bestimmung von Hochwasserabflüssen mit geringen Auftretenswahrscheinlichkeiten (Wiederkehrintervall $T > 100$ a) werden in der hydrologischen, wasserwirtschaftlichen und wasserbaulichen Bemessungspraxis lange Zeitreihen von Jahreshöchstabflüssen (HQ_T) benötigt. Diese stehen jedoch meist nicht zur Verfügung. An vielen Pegeln gibt es jedoch historische Aufzeichnungen, aus denen der Abflussscheitel einzelner historischer Hochwasser vor dem Beginn regelmäßiger Beobachtungen z.B. über historische Hochwassermarken rekonstruiert werden kann.

In der Vergangenheit wurden solche extremen historischen Durchflüsse meist grob abgeschätzt oder mit einfachen hydraulischen Formeln annähernd rekonstruiert und dann, oft über sehr lange Zeiträume, als (statischer) Extrapolationspunkt z.B. für die Erstellung der Wasserstands-Durchfluss(W-Q)-Beziehungen genutzt.

Da die nachträgliche Einbeziehung lang zurückliegender historischer Hochwasserinformationen naturgemäß eine Vielzahl von Unsicherheiten birgt, ist es erforderlich, die Daten möglichst objektiv, integrativ und zusammenhängend auszuwerten. Das setzt vor allem ein kritisches und umfangreiches Studium der Primär- und Sekundärquellen voraus. Ziel sollte es dabei sein, eine hinreichende Homogenität der Daten zu gewährleisten.

Neben der erreichbaren besseren Einordnung extremer Ereignisse können insbesondere die Vertrauensbereiche hochwasserstatistischer Analysen, die eine wichtige Grundlage des Hochwasserrisikomanagements bilden (DKKV 2003), deutlicher eingegrenzt werden.

Bei der Berücksichtigung historischer HQ_h werden im Laufe der Entwicklung verschiedene Ansätze verwendet, die sich vor allem durch das Gewicht unterscheiden, welches den Daten der n-jährigen Beobachtungsreihe und den historischen Daten zugeordnet wird.

In der Regel liegen längere durchgehende Beobachtungsreihen von Jahreshöchstdurchflüssen HQ(a) und einige wenige historische Hochwasserdurchflüsse HQ_h vor. Dann können die HQ(a) der Beobachtungsreihe, die kleiner als minHQ_h sind, als repräsentativ für die fehlenden HQ des historischen Zeitraumes n_h angesehen werden (siehe DYCK et al. 1976, S. 283 ff.).

Die häufig verwendete (empirische) Formel für die zeitliche Einordnung beobachteter HQ(a)

$$P_u(HQ) = \frac{m(HQ)}{n+1}$$

mit

- $P_u(HQ)$ – empirische Unterschreitungs-Wahrscheinlichkeit der Jahreshöchstdurchflüsse $HQ(a)$
- m – Rangzahl der nach der Größe geordneten $HQ(a)$ („vom kleinsten zum größten“)
- n – Anzahl der Jahre, für die $HQ(a)$ vorliegen („Länge der Beobachtungsreihe“)

ist dann zu ergänzen. Den historischen Hochwassern und den Hochwassern $HQ(a)$ aus der Beobachtungsreihe von n Jahren, die größer als $\min HQ_h$ sind, wird eine empirische Unterschreitungswahrscheinlichkeit $P_u(HQ_h)$ zugeordnet, die ihnen aufgrund ihrer Rangfolge $m_h = 1, 2, \dots$ innerhalb eines bestimmten historischen Zeitraumes n_h zukommt gemäß

$$P_u(HQ_h) = 1 - \frac{m_h}{n_h}$$

mit

- m_h – Rangzahl der nach der Größe geordneten HQ_h und $HQ(a)$ mit $HQ(a) > \min HQ_h$ im Zeitraum n_h (hier aber vom größten zum kleinsten Wert geordnet!)
- n_h – Zugehöriger Zeitraum, für den das HQ_h bzw. $HQ(a)$ mit $HQ(a) > \min HQ_h$ das jeweils größte ($m_h = 1$), das zweitgrößte ($m_h = 2$) usw. war.

D.h., je länger der historische Zeitraum ist, für den man weiß, dass ein bestimmtes Hochwasser das größte war, desto näher liegt dessen Unterschreitungswahrscheinlichkeit beim Wert 1. Letztlich kann auch die Bestimmung der Parameter der Verteilungsfunktion nach der Momentenmethode über die Einbeziehung historischer Hochwasser erfolgen (siehe z.B. KRAUSE 1969; DYCK et al. 1976).

Da es sich aus den historischen Aufzeichnungen aber nicht immer sicher erschließen lässt, ob ein Hochwasser tatsächlich das größte oder zweitgrößte usw. in einem bestimmten Zeitraum war, wird im DVWK-Merkblatt 251 (DVWK 1999) ein anderes Verfahren empfohlen, welches auch softwaremäßig mit dem Programm HQ-EX® ab Version 3.0 (WASY 2005) umgesetzt ist. Hierbei werden die $HQ(a)$, die kleiner als $\min HQ_h$ sind, mit einem Gewichtungsfaktor G (der von der Anzahl der HQ_h und der $HQ(a) > \min HQ_h$ und von der Länge der Beobachtungsreihe und dem historischen Zeitraum abhängt), versehen und G -mal auf die historische Beobachtungsreihe übertragen. Es werden somit gewissermaßen Datenlücken im historischen Zeitraum mit Abflüssen aus dem Beobachtungszeitraum gefüllt.

D.h. die Einbeziehung rekonstruierter historischer Abflussdaten in Zeitreihenanalysen und speziell in die hydrologische Extremwertstatistik ist sowohl international als auch national keineswegs neu. Es stehen vielfältige theoretische Überlegungen (z.B. DYCK et al. 1976), praktische Anwendungen (z.B. GEES 1998) und methodische Untersuchungen (z.B. GRÜNEWALD 2006, DWA 2008, MERZ & BLÖSCHL 2008) zur Verfügung, auf die im Anwendungsfall zurückgegriffen werden kann.

Die Analyse historischer Klimaverhältnisse (z.B. PFISTER 1999, GLASER 2001, BRAZDIL et al. 2005) kann zudem durch den Erkenntnisgewinn bezüglich vergangener hydrologischer und meteorologischer Zustände Einblicke in die langfristige Variabilität von Großwetterlagen und des Extremhochwasser-Abflussge-

schehens in Raum und Zeit geben (z.B. MUDELSEE et al. 2003, 2004). Letztlich helfen solche Klima- und umweltgeschichtlichen Analysen, den häufig festzustellenden Trend des nur „kurzfristigen Zurückerinnerns“ entgegenzuwirken.

4 Erschließung und Einbindung historischer Informationen für das Hochwasserrisiko-management

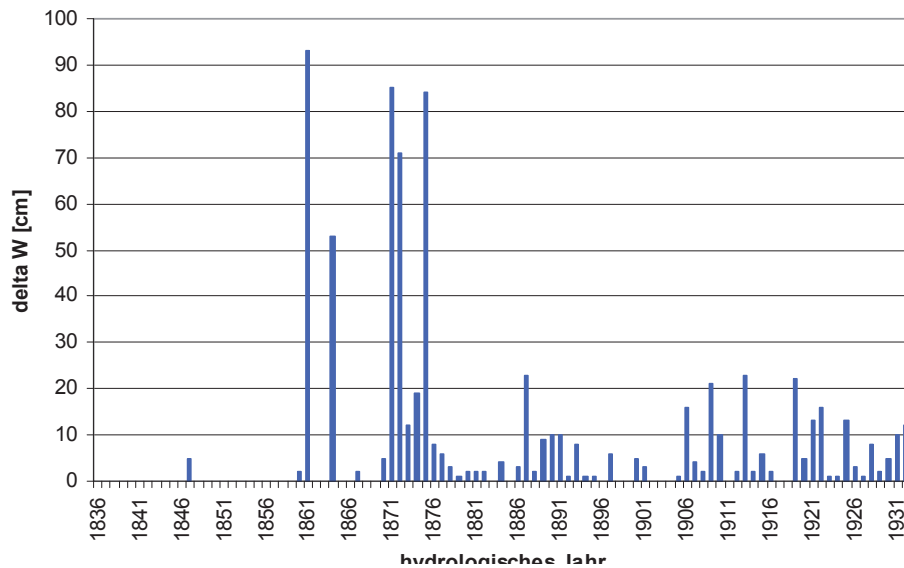
Um wissenschaftlich fundierte Methoden und Werkzeuge für ein modernes Hochwasserrisikomanagement in Deutschland stärker zu entwickeln und umzusetzen, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) nach dem Julihochwasser im Jahre 1997 an der Oder und nach dem Pfingsthochwasser 1999 in Bayern sowie insbesondere nach dem Augsthochwasser 2002 an Elbe und Donau die Förderaktivität „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“, kurz RIMAX, ins Leben gerufen.

Dabei gilt es, den traditionellen „Hochwasserschutz-Ansatz“, der durch Sicherheits- und Schutzdenken geprägt ist, zu ersetzen durch einen nüchternen und sachlichen Umgang mit dem Hochwasserrisiko. Letzteres wird verstanden als Produkt von Gefährdung und Schadenempfindlichkeit. Ziel des Hochwasserrisikomanagements ist es, katastrophale Wirkungen von Hochwasser zu vermeiden bzw. zu vermindern.

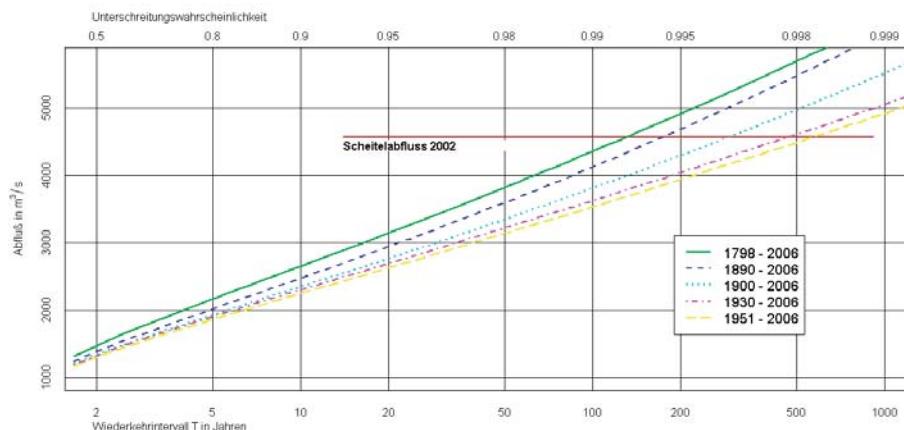
RIMAX konzentriert sich auf Extremereignisse, also Hochwasser, welche im statistischen Mittel einmal in hundert Jahren oder seltener auftreten, aber große volkswirtschaftliche Schäden anrichten. Gefahren durch solche Ereignisse können nur durch integrierte und nachhaltige Herangehensweisen begegnet werden.

Das zeigen auch die RIMAX-Projekte, die eine verbesserte Nutzung von Informationen aus historischen Hochwassern für die Ermittlung extremer Hochwasserabflüsse zum Ziel hatten.

Es wurde vor allem dann eine neue theoretische, methodische und praktische Stufe der Qualität in den relevanten RIMAX-Projekten erreicht, wenn eine stetige interdisziplinäre Zusammenarbeit z.B. von Historikern, Hydrologen, Meteorologen, Hydraulikern am konkreten Objekt unter der Nutzung möglichst vielfältiger und kritisch hinterfragter Quelltexte, in verschiedensten Archivquellen gesichert werden konnte. So konnte am Beispiel des Elbepegels Dresden, der seit 1776 existiert und seitdem nur relativ geringen und nachvollziehbaren Veränderungen unterworfen war, gezeigt werden, dass bei der Verwendung historischer Daten eine detaillierte Recherche, eine umfangreiche Plausibilisierung und eine gründliche Homogenisierung aller verfügbaren Daten für eine gewinnbringende Einbeziehung notwendig ist. Neben der Korrektur (qualitative Verbesserung) der bestehenden Daten wurde eine weitere Verlängerung der Zeitreihen (quantitative Verbesserung) erreicht (BARTL et al. 2008). So wurde die Reihe der täglichen Wasserstände um rund 30 % der Länge des Ausgangsdatensatzes erweitert und knapp 40 % der ursprünglichen Werte der Jahres-HW als fehlerhaft identifiziert (siehe Abb. 2), korrigiert und auf der Grundlage dieser und anderer neuer Informationen dynamisch in Jahres-HQ-Werte transformiert. Abbildung 3 zeigt den Verlauf einer an unterschiedlich langen Reihen angepassten Extremwertverteilung (Allgemeine Extremwertverteilung jeweils mit der gleichen Parameterschätzmethode) für das neu erschlossene Datenkollektiv des Pegels Dresden.

**Abbildung 2**

Wasserstandskorrekturen („delta W“) der Jahreshöchstwasserstände am Elbe Pegel Dresden (1836–1932) aufgrund recherchierter historischer Dokumente
Corrections („delta W“) of the highest annual water-levels at the Elbe river gauge at Dresden (1836–1932) on the basis of evaluated historical documents

**Abbildung 3**

An unterschiedliche Reihenlängen von Jahres-HQ-Werten des Pegels Dresden angepasste Extremwertverteilungen (Allgemeine Extremwertverteilung und Parameterschätzung mittels Maximum-Likelihood-Methode)

Extreme-value distributions adjusted to different series of highest annual values of the Dresden gauge (general extreme-value distribution and moment estimates using the maximum likelihood estimation)

Dem Hochwasserscheitelabfluss des Augusthochwassers 2002 in Dresden wird danach bei einem Startjahr der Jahresreihen zwischen 1798 und 1878 (in Abb. 3 als Beispiel nur 1798–2006 dargestellt) ein Wiederkehrintervall von 130 bis 160 Jahren zugeordnet. Verwendet man jedoch nur kürzere Jahresreihen, vergrößert sich dieses Wiederkehrintervall bis zu 650 Jahre, d.h. der statistischen (Willkür-)Interpretation ist – wie die Diskussionen um die Einordnung des Augustereignisses 2002 an der Elbe im Bereich Dresden zeigten und immer wieder zeigen – breiter Raum gegeben.

An vielen Flüssen Deutschlands liegen langjährige Pegelraten bzw. historische Hochwasseraufzeichnungen (siehe z.B. DEUTSCH 2010) vor. Das „Beispiel Dresden“ (BARTL et al. 2008) zeigt, dass es sich lohnt, diese systematisch zu erschließen, zu hinterfragen und aufzubereiten. Offen bleibt dagegen die Frage, wie zukünftig mit den erkannten offensichtlichen Fehlern, z.B. der Wasser-

stände in den Amtlichen Gewässerkundlichen Jahrbüchern, der Vergangenheit umgegangen wird.

Die potentiellen Grenzen der in einem anderen RIMAX-Projekt dargestellten Methode zur Rekonstruktion historischer Hochwasser sowie der sie auslösenden Wetterlage und der Niederschläge bilden die vorhandenen historischen meteorologischen Messungen. Die Ergebnisse der Rekonstruktion historischer Hochwasser mittels meteorologischer und hydrologischer Daten am Beispiel des Neckarhochwassers 1824 (SUDHAUS et al. 2008) zeigten, dass dies in Zentraleuropa in einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts möglich ist. Dabei muss angemerkt werden, dass die Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters mit dreizehn meteorologischen Stationen Unsicherheiten für eine präzise räumliche Wettersituation birgt, insbesondere für den Atlantischen Ozean, wo keine Daten für 1824 verfügbar sind. Hervorhebenswert ist, dass bisher noch kein historisches Hochwasserereignis so detailliert und hochaufgelöst rekonstruiert wurde wie das Neckarhochwasser von 1824, das immerhin über 180 Jahre zurückliegt. Zudem erlauben diese Ergebnisse, Aussagen über die Auswirkung eines realen extremen Hochwasserereignisses auf das heutige Neckareinzugsgebiet zu treffen und sie können somit zur Verringerung der bestehenden Unsicherheiten von rein statistisch berechneten Maximalabflüssen beitragen (SUDHAUS et al. 2008).

Das Beispiel des Neckarhochwassers von 1824 macht weiterhin deutlich, dass die hydrometeorologischen Bedingungen von Hochwasserereignissen in der Vergangenheit im heutigen Hochwasserrisikomanagement berücksichtigt werden können und müssen, zumal verschiedene aktuelle Studien aufzeigen, dass Veränderungen in der Lufttemperatur und den Niederschlagsverhältnissen extreme Wettersituationen in Zentraleuropa verursachen können (KRAUS & EBEL 2003, KLIWA 2005, SCHÖNWIESE & TRÖMEL 2006).

Das Hochwasser vom Oktober 1824 war das bisher extremste heute bekannte Hochwasserereignis im Neckareinzugsgebiet, das durch Starkniederschläge verursacht wurde. In der Abfolge: Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters – Niederschlags-Abfluss-Modellierung anhand simulierter Gebietsniederschläge – Hydraulische Modellierung (SUDHAUS et al. 2008) kann es als Grundlage für die Berechnung und Modellierung möglicher extremer Hochwasser herangezogen und als extremes Bemessungshochwasser (HQ_{extrem}) für die im Rahmen der Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG

2007) zu erstellenden Hochwasserrisiko- und -gefahrenkarten eingesetzt werden.

In DWA (2008) werden weitere Methoden für die Ermittlung von extremen Hochwasserabflüssen auf der Basis historischer Informationen dargestellt und bewertet sowie Handlungsempfehlungen für die Praxis gegeben. Diese beziehen sich u.a. auf die Entwicklung regionalisierter Hochwasserstatistiken, die Simulation großskaliger Niederschlags-Abfluss-Prozesse und die Erstellung hydraulischer Modelle. Hervorzuheben in diesen Untersuchungen ist der notwendige interdisziplinäre Ansatz. Bereits die Fülle des Quellenmaterials zu historischen Hochwasserereignissen verdeutlicht, dass für die Erfassung, kritische Überprüfung und erste Aufbereitung der Quellen, aber auch für die anschließende Analyse der historischen Datensätze, Kartenvorlagen und weiterer Informationen möglichst Vertreter verschiedenster Fachdisziplinen zusammenarbeiten müssen. Dazu sind beispielsweise Umwelthistoriker, Hydrologen, Meteorologen und Wasserbauingenieure zu involvieren. Dadurch bestehen die Möglichkeit und auch die Chance, dass jeder Fachvertreter seine eigenen spezifischen Arbeitsmethoden, Forschungsansätze und Erfahrungen mit einbringen kann. Nur wenn diese Bereitschaft und Fähigkeit zum interdisziplinären Arbeiten besteht, können historische Hochwasseruntersuchungen zu einem tragfähigen Ergebnis bezüglich z.B. einer zeitlichen Informationserweiterung führen.

5 Nutzen historischer Hochwasseraufzeichnungen für die Verbesserung der Hochwasserbewusstseinsbildung

Der Nutzen der quantifizierten Hochwasserinformationen zur zuverlässigen Bemessung und Bewertung der Sicherheit von Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken oder von Deichen ist offensichtlich.

Das Wissen zu und aus historischen Hochwassern kann aber auch qualitativ in die „Hochwasservorsorge für morgen“ integriert werden, denn ohne Zweifel haben historische Informationen zu extremen Hochwasserständen und -abflüssen erhebliche Bedeutung für die Erhöhung der Hochwasserbewusstseinsbildung im Rahmen der Verhaltensvorsorge und der Risikovorsorge im Kreislauf des Hochwasserrisikomanagements (DKKV 2003). So lassen sich in vielfältiger Weise Darstellungen von historischen Hochwassern auf Fotos oder in alten Karten oder Gemälden, Hochwassermarken, historischen Flugschriften und Drucken u.ä. in Broschüren, Kalendern, Wanderausstellungen, ständigen musealen Ausstellungen nutzen.

So können beispielsweise an Hand originaler Kartenvorlagen die Überschwemmungsflächen verschiedener historischer Hochwasserereignisse in aktuelle Karten übertragen werden. Vorlagen hierfür bieten beispielsweise Überschwemmungskarten, die für die sächsische Elbe anlässlich der Hochwasser von 1890 und 1845 angefertigt wurden und heute im Archiv des Wasser- und Schifffahrtsamtes Dresden sowie in der Kartensammlung der Sächsischen Landes- und Universitätsbibliothek lagern. Solche Darstellungen historischer Überschwemmungskarten vermitteln dem Bürger sehr eindrucksvoll mögliche Hochwassergefährdungen. Das gilt ebenso für alte Hochwasserfotos oder zeitgenössische („nach der Natur gezeichnete“) Darstellungen (DWA 2008).

Sie tragen nicht unwesentlich dazu bei, den notwendigen Wandel von „Hochwasserschutzversprechen“ hin zum nüchternen, sachlichen und verantwortungsbewussten „Umgang mit dem Hochwasserrisiko“ zu unterstützen. Dadurch vergrößert sich die Chance, das schnelle „Vergessen und Verdrängen“ von Naturgefahren, wie sie Extremhochwasser auch in unseren Regionen darstellen, in der erwähnten nutzbringenden interdisziplinären Zusammenarbeit z.B. von Historikern, Hydraulikern, Meteorologen und Hydrologen, zu mindern und aus „Naturkatastrophen zu lernen“. Historisches Material (z.B. PFISTER 1999, GLASER 2001, BRAZDIL et al. 2005) und daraus abgeleitete Wirkungsanalysen (z.B. MÜLLER et al. 2005, DEUTSCH 2007, POLIWODA 2007) sowie Analysen dazu, was in der Vergangenheit gewissermaßen als „worst case“ eingetreten war (z.B. TETZLAFF et al. 2002) wurden dazu in der Zwischenzeit vielfältig erarbeitet.

Für das Elbegebiet schildert insbesondere Christian Gottlieb Pötzsch (1732–1805) die im Verlauf der gesamten Elbe besonders schadbringenden Hochwasser. Die Chronologie wird in Fachkreisen als außerordentlich gründlich recherchierte historische Dokumentation anerkannt und versetzt uns heute in die Lage, zeitlich weit zurückreichende Informationen zu extremen Hochwassern, deren unterschiedliche Ballungen, jahreszeitliche Verteilung und Ausprägung in unsere heutigen Analysen einfließen zu lassen.

Unter Zugrundelegung dieser „Hochwasserchronologie“ lassen sich beispielsweise orientierende bzw. (halb-)quantifizierende Aussagen sowohl über die Klimaschwankungen als auch über jahreszeitliche Muster des Auftretens von Extremhochwassern der Elbe ableiten (FÜGNER 1995). So entstanden im Zeitraum des sogenannten „mittelalterlichen Klimaoptimum“ (1000–1300) offensichtlich mehr als 90 % der großen Hochwasser im Sommerhalbjahr, während der Zeitraum 1300 bis 1400 durch mehrere harte Winter geprägt war, die zu entsprechenden katastrophalen Hochwasserereignissen führten. 88 % dieser waren mit „starken Eisfahrten und Tauwetter im Frühjahr“ verknüpft.

Im folgenden Jahrhundert (1400–1500) entstanden dagegen 80 % der bekannten extremen Hochfluten in den Sommermonaten, während in der Zeit der „kleinen Eiszeit“ (1550–1850) wiederum die „winterlichen Hochfluten“ (um 80 %) dominierten. Zwischen 1775 und 1850 wird am Elbstrom für 37 Winter eine geschlossene Eisdecke angegeben, wovon in 27 Jahren eine Dauer von vier bis 14 Wochen eingetreten sein soll.

Besonders die Eisflut von 1784 – die C. G. Pötzsch als Augenzeuge erlebte – stürzte Sachsen in ein Chaos. War doch im Jahr 1655 letztmalig ein ähnlich schweres Hochwasserereignis über das Land hereingebrochen. Dieser Flut folgten dann – offensichtlich bedingt durch eine Folge von besonders extrem kalten Wintern jeweils in Kombination mit Warmlufteinbrüchen z.B. in den Jahren 1785, 1799, 1814, 1821, 1827, 1830, 1845 – eine Reihe von zum Teil ebenfalls katastrophalen Ereignissen. Unter dem Titel: „Aus Katastrophen lernen – Sachsen im Kampf gegen die Fluten der Elbe 1784 bis 1845“ stellt sich POLIWODA (2007) die Frage: „Wie reagiert eine Gesellschaft unter dem Druck nicht abbrechender Hochwasserkatastrophen? Welche Strategien entwickelt eine Gesellschaft, wenn sie fast jährlich krisenhafte Zustände zu bewältigen hat“, um (ebenda, S. 230) festzustellen: Ähnlich wie nach dem Augsthochwasser 2002 waren Gesellschaft und Akteure „von den Fluten betroffen und standen unter einem

Problemdruck, dieses Extremereignis nicht nur abzuwehren und sich anzupassen, sondern vorsorgend dagegen vorzugehen. Hierzu entwickelten sie gemeinsame Ansichten und Strategien, um das Problem der wiederkehrenden Fluten zu lösen. Es kam zu einer dauerhaften Adaptions- und Lernleistung. Die Akteure dachten künftige Entwicklungen voraus und handelten dementsprechend. Hierfür war eine Veränderung des vorhandenen Wissens nötig. Diese Entwicklung und kollektives Lernen wurde von starken Persönlichkeiten getragen, das zunehmend gemeinsam erfolgte, wodurch die Lokalebene in die Verbesserungen eingebunden wurde“.

Detailliert werden die dementsprechenden „wichtigsten Lernschritte in den Lernphasen“ I (1784 bis 1799), II (1800 bis 1820) und III (1820 bis 1845) dargestellt und schließlich zum Teil verblüffende Analogien zu der Analyse in „Hochwasservorsorge in Deutschland – Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet“ (DKKV 2003) hergestellt.

6 Zusammenfassung

Historische Aufzeichnungen zu Hochwasserereignissen bieten vielfältige Chancen der verbesserten Quantifizierung und Qualifizierung der Hochwasservorsorge und deren Bewältigung sowie zu der auch für Deutschland bindenden Umsetzung der EU-Hochwasserrisikomanagementrichtlinie (EG 2007).

Letztlich hat bei allen tragischen Ereignissen und negativen wirtschaftlichen Konsequenzen die offensichtliche Ballung von Extremhochwassern der letzten Jahre in Mitteleuropa erheblich dazu beigetragen, die Naturgefahr Hochwasser wieder in das Bewusstsein der Öffentlichkeit zu bringen und z.B. dem Hochwasserrisikomanagement als Kreislauf von Hochwasservorsorge und -bewältigung zu einer neuen Qualität und gesellschaftlichen Akzeptanz zu verhelfen. Es zeigen sich vielfältige Parallelen bei der gesellschaftlichen und individuellen Reaktion auf ähnliche Ballungen von extremen Hochwasserereignissen im 18./19. Jahrhundert und im 21. Jahrhundert. Wie die Vergangenheit verdeutlicht und wie insbesondere das 20. Jahrhundert bezüglich des Vergessens und Verdrängens solcher Naturgefahren vor allem in Mitteleuropa zeigte, geraten solche Ereignisse aber auch schnell wieder in Vergessenheit. Deshalb bedarf es – auch unter den Aspekten zukünftiger Unsicherheiten – nicht nur kurzfristig vielfältiger weiterer Anstrengungen aller beteiligten und verantwortlichen Akteure, diese Sensibilität vor allem auch unter Nutzung der Beobachtungen und Erkenntnisse unserer „wissenschaftlich-technischen Vorfahren“ aufrechtzuerhalten.

Summary

Historical flood information offers various chances for better quantification and qualification of flood-prevention and management practices. With the tragic incidents and negative economic consequences, the obvious increase in flood frequency in Central Europe over the last few years contributed to restore the warning public awareness of flood risks. Flood-risk management as a cycle of precaution and flood control gained a new quality and found social acceptance. There are various analogies in the social and individual reactions to similar extreme flood frequencies in the 18th and 19th centuries and in the 21st century. The past and especially the 20th century illustrate that such floods

are soon forgotten by the general public. Therefore, divers long-term efforts of the stakeholders are necessary to maintain the public awareness using the observations and the scientific-technical knowledge of our ancestors.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. rer. nat. habil. U. Grünewald
Lehrstuhl Hydrologie und Wasserwirtschaft
Fakultät Umweltwissenschaften und Verfahrenstechnik
Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Konrad-Wachsmann-Allee 6, 03046 Cottbus
Uwe.Gruenewald@tu-cottbus.de

Literaturverzeichnis

- BARTL, S., U. GRÜNEWALD & S. SCHÜMBERG (2008): Zur Rekonstruktion langjähriger Wasserstands- und Durchflusszeitreihen am Elbepegel Dresden. – In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 4, S. 162–167
- BEARD, L.R. (1967): Simulation of Daily Streamflow. – Internat. Hydrol. Symposium, Fort Collins, Teil 1, S. 625–631
- BRAZDIL, R., C. PFISTER, H. WANNER, H.V. STORCH & J. LUTERBACHER (2005): Historical Climatology in Europe – The State of the Art. – In: Climatic Change 70, S. 363–430
- DEUTSCH, M. (2007): Untersuchungen zu Hochwasserschutzmaßnahmen an der Unstrut (1500–1900). – Göttinger Geographische Abhandlungen, Heft 117, Goltze Druck GmbH & Co. KG Göttingen, 221 S.
- DEUTSCH, M. (2010): Anmerkungen zur Geschichte des preußischen Pegelwesens im 19. Jahrhundert. – In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 54, H. 2, S. 65–74
- DIN (Deutsches Institut für Normung) (2004): DIN 19700-10, 11, 12. Stauanlagen Teil 10, 11 und 12. – Normenausschuss Wasserwesen (NAW) im DIN. Berlin, 28 S.
- DKKV (Deutsches Komitee für Katastrophenvorsorge) (Hrsg.) (2003): U. Grünewald, M. Kaltofen, S. Schümborg, B. Merz, H. Kreibich, T. Petrow, A. Thieken, W. Streitz, W. R. Dombrowsky: Hochwasservorsorge in Deutschland. Lernen aus der Katastrophe 2002 im Elbegebiet. – Schriftenreihe des DKKV, H. 29, 150 S.
- DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau) (1999): Statistische Analyse von Hochwasserabflüssen. – DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 251/1999. – Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- DWA (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (Hrsg.) (2008): Erschließung und Einbeziehung historischer Informationen für die Ermittlung extremer Hochwasserabflüsse – Fallbeispiele und Empfehlungen –. DWA-Themen, Mai 2008, ISBN: 978-3-940173-75-1, Hennef, 90 S.
- DYCK, S., N. HANSEL, C. KLUGE, D. LAUTERBACH & M. SCHRAMM (1976): Angewandte Hydrologie. Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. – VEB Verlag für Bauwesen, Berlin

- DYCK, S. & G. PESCHKE (1995): Grundlagen der Hydrologie. – Verlag für Bauwesen, 3. Auflage, Berlin
- EG (2007): Richtlinie 2007/60/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2007 über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken. – Amtsblatt der Europäischen Union. L 288/27, 8 S.
- FÜGNER, D. (1995): Hochwasserkatastrophen des Elbstromes in Sachsen. – In: Odborný seminar Povodňová ochrana na labi. Usti nad Labem
- GEES, A. (1998): Analyse historischer und seltener Hochwasser für die Praxis. – In: Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen 42, H. 6, S. 240–244
- GLASER, R. (2001): Klimageschichte in Mitteleuropa seit dem Jahr 1000. 1000 Jahre Wetter, Klima, Katastrophen. – Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt
- GRÜNEWALD, U. (1977): Stochastische Simulation von Tagesmittelwerten des Durchflusses in Hochwasserzeiten. – WWT 27, H. 1, S. 28–31; H. 2, S. 51–53
- GRÜNEWALD, U. (1998): Causes, development and consequences of the Oder flood 1997. – In: Bronstert, A., A. Ghazi, J. Hladny, Z. Kundzewicz, & L. Menzel (Hrsg.): PIK Report No. 48. The Odra/Oder flood in summer 1997: Proceedings of the European Expert Meeting. – Potsdam Institute for Climate Impact Research, 18 Mai 1998, Potsdam, S. 27–36
- GRÜNEWALD, U. (2001): Wasserwirtschaftliche Planungen. – In: Lecher, K., H.-P. Lühr, U. Zanke (Hrsg.): Taschenbuch der Wasserwirtschaft, 8. Auflage. – Verlag Paul Parey, Berlin, S. 1123–1163
- GRÜNEWALD, U. (2006): „Kann der Schlüssel zur wasserwirtschaftlichen Zukunft allein in der relativ kurz beobachteten Vergangenheit gesucht werden?“ – In: Disse, M., K. Guckenberger, S. Pakosch, A. Yorük, A. Zimmermann (Hrsg.): Risikomanagement extremer hydrologischer Ereignisse. Beiträge zum Tag der Hydrologie 2006, 22./23. März 2006 an der Universität der Bundeswehr München. – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 15.06, Band 2. Vorträge 2, Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften. Hennef, S. 303–313
- GRÜNEWALD, U. (2007): Zur Einbeziehung historischer hydrologischer Extremereignisse – Erfahrungen aus dem Elbegebiet. – In: Gutknecht, D. (Hrsg.): Extreme Abflussereignisse. – Institut für Wasserbau und Ingenieurhydrologie, TU Wien. – Wiener Mitteilungen 206, S. 7–16
- HANSEL, N. (1970): Zur Bestimmung maximaler Hochwasserdurchflüsse durch regionale Betrachtungen. – Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT) 20, H. 8, S. 259–263
- KLEEBERG, H.-B. & A.H. SCHUMANN (2001): Ableitung von Bemessungsabflüssen kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeiten. – Wasserwirtschaft 91, H. 2, S. 90–95
- KLIWA (2005): Klimawandel in Baden-Württemberg. – LfU Baden-Württemberg (<http://www.kliwa.de>)
- KRAUS, H. & U. EBEL (2003): Risiko Wetter: Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. – Springer-Verlag, Berlin
- KRAUSE, G. (1969): Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse zur Verbesserung der Genauigkeit der Ermittlung statistischer Hochwasser. – WWT 19, S. 20–23
- LANG, M. & G. OBERLIN (1994) Preliminary test for mapping the 100-year flood with the AGREGEE Model. FRIEND: Flow Regimes from International Experimental and Network Data. – Proc. of the Braunschweig Conference, Oct. 1993. – IAHS Publ. no. 221
- MERZ, R. & G. BLÖSCHL (2008): Informationserweiterung zur Bestimmung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. – In: Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 6, S. 300–309
- MUDELSEE, M., M. BÖRNGEN, M. TETZLAFF & U. GRÜNEWALD (2003): No upward trends in the occurrence of extreme floods in central Europe. – Nature 425 (6954), S. 166–169
- MUDELSEE, M., M. BÖRNGEN, M. TETZLAFF & U. GRÜNEWALD (2004): Extreme floods in central Europe over the past 500 years: role of cyclone pathway „Zugstrasse Vb“. – J. Geophys. Res. 109 (D23), D23101 doi: 10.1029/2004JD005034
- MÜLLER, R., M. FÄSSLER, M. GRÜNIG, A.A. MARCA, S. SUMMERMATER, M. WIDMER & C. PFISTER (2005): Die Not als Lehrmeisterin. Auswirkungen von Naturkatastrophen auf staatliches Handeln am Beispiel von sechs ausgewählten Krisensituationen im 19. und 20. Jahrhundert. – Schweizerische Zeitschrift für Geschichte 55, H. 3, S. 257–284
- PFISTER, C. (Hrsg.) (1999): Wetternachhersage. 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. – Haupt, Bern
- POLIWODA, G.N. (2007): Aus Katastrophen lernen. – Verlag Böhlau, Köln, 295 S.
- PÖTZSCH, C.G. (1784, 1786, 1800): Chronologische Geschichte der großen Wasserfluten des Elbstromes seit tausend und mehr Jahren. Bände I, II, III. – Dresden
- QUIMPO, R.G. (1968): Stochastic Analysis of Daily River Flows. – Journal of the Hydraulics Division, ASCE, Vol. 94, No. 1, S. 43–57
- SCHÖNWIESE, C. & S. TRÖMEL (2006): Mehr extreme Niederschläge in Deutschland. – Naturwissenschaftliche Rundschau 59, S. 194–199
- SUDHAUS, D., K. BÜRGER, P. DOSTAL, F. IMBERY, J. SEIDEL, W. KONOLD, H. MAYER & R. GLASER (2008): Rekonstruktion historischer Hochwasserabflüsse anhand meteorologischer und hydrologischer Daten. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 4, S. 198–202
- TETZLAFF, G., M. BÖRNGEN, M. MUDELSEE & A. RAABE (2002): Das Jahrtausendhochwasser von 1342 am Main aus meteorologisch-hydrologischer Sicht. – Wasser & Boden 54 (10), S. 41–49
- TREIBER, B. (1975): Ein stochastisches Modell zur Simulation von Tagesabflüssen. – In: Mitteilungen/Institut für Wasserbau III, Universität Karlsruhe (5)
- WASY (2005): Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH (Hrsg.): HQ-EX 3.0 Programm zur Berechnung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. CD-ROM

Erich J. Plate

Hydrologische Bemessungspraxis im Wandel der Zeiten

Hydrological design practices in the course of time

Das Ziel der Wasserwirtschaft ist die Bereitstellung der Wassermengen in Qualität und Quantität für die Bedürfnisse der menschlichen Gesellschaft sowie die Gewährleistung des Schutzes vor negativen Auswirkungen des Wassers, z.B. durch Hochwasser oder Schädigung der Umwelt. Hierfür liefert die Ingenieurhydrologie die Bemessungsgrundlagen. Sie hat sich im Laufe der Zeit aus den Anfängen reiner Empirie zu einer Ingenieurwissenschaft mit starker Verbindung zur naturwissenschaftlichen Hydrologie entwickelt. Von den Ursprüngen einer ad hoc Lösung für Speicher- oder Hochwasserprobleme ausgehend, ist im Laufe der Zeit eine Methodik auf naturwissenschaftlicher Basis entstanden, wie beispielhaft an der Entwicklung des Sicherheitskonzeptes in der Wasserwirtschaft gezeigt werden soll. Die Entwicklung des wasserwirtschaftlichen Sicherheitsbegriffs wird an wasserwirtschaftlichen Fragestellungen nachgezeichnet, an der Frage der Sicherheit von Talsperren, vornehmlich aber am Beispiel des Hochwasserschutzes. Dabei wird deutlich, dass die naturwissenschaftliche Grundlage der Hydrologie nur ein Teil des Bemessungskonzeptes ist. Vielmehr werden in zunehmendem Maße auch andere Fachgebiete wie z.B. Ökonomie und Soziologie tangiert. Heute wird ein vollständiges Risikomanagement als zeitgemäße Lösung für die Sicherheitsoptimierung empfohlen. Dabei ergibt sich die neue Fragestellung, ob nicht auch andere als nur wirtschaftliche Aspekte im Risiko erfasst werden können.

Schlagwörter: Hydrologische Bemessung, Risikomanagement, Sicherheitskonzept, Wasserwirtschaft

The objective of water-resources planning is to make water available in sufficient quantity and quality to meet the demands of society, as well as to ensure protection against negative effects of water such as floods or water pollution. Engineering hydrology provides the analytical tools for the design of the required infrastructure. These tools have developed in the course of time from empirical approaches to applications of scientific hydrology, as shall be illustrated here for the field of water-resources management by means of the development of the concept of human safety. The concept of human safety is elucidated by means of examples of reservoir design and, especially, flood-protection design concepts. It becomes evident that scientific hydrology is only one component of the design concepts. Increasingly, other fields are also becoming involved, such as economy or sociology. Today, a comprehensive risk-management approach is recommended as a modern solution for the optimization of human safety. This involves new questions, such as the inclusion of other than economic consequences into the risk-assessment routines.

Keywords: Hydrological design, risk management, safety concept, water-resources management

1 Einleitung

Die moderne Hydrologie (als „Hydrological Sciences“ (Plural!) im englischen Sprachraum bezeichnet) hat sich in den letzten zweihundert Jahren in zwei Zweigen entwickelt. Der eine Zweig ist die Ingenieurhydrologie (DYCK & PESCHKE 2005, MANIAK 2005). Sie entstand aus den Bedürfnissen der Wasserwirtschaft, für die quantitative Bemessungsgrundlagen benötigt wurden. Wasserwirtschaftliche Fragestellungen betreffen vor allem Nutzung und Schutz des Wassers sowie den Schutz vor dem Wasser. Der zweite Zweig ist die geowissenschaftliche Hydrologie, deren Vertreter die Wechselwirkung des Wassers in seinen verschiedenen Erscheinungsformen mit Klima und Landschaft auf verschiedenen Raumskalen untersuchen (KELLER 1961). Es ist eine wichtige Aufgabe der geowissenschaftlichen Hydrologie, Daten von Niederschlag und Abfluss auszuwerten mit dem Ziel, Wasserbilanzen auf immer kleinräumigeren Skalen zu erstellen und durch zunächst globales (KELLER 1961, BAUMGARTNER & REICHELT 1975), immer mehr lokal differenziertes und landschaftsspezifisches Prozessverständnis zu erklären.

Beide Zweige sind auf ein gut funktionierendes Messwesen angewiesen, weil ohne die lokale Datenbasis von Niederschlag, Abfluss, Versickerung, Verdunstung, Interzeption usw. keine hydrologischen Erkenntnisse möglich sind. Daher darf man sagen, dass die moderne Hydrologie durch Netzwerke von meteorolo-

gischen Klimastationen und Pegeln erst möglich geworden ist. Denn es ist eine Besonderheit der Hydrologie, die sie mit anderen Erdwissenschaften teilt, dass Erkenntnisse über die regional zusammenwirkenden grundlegenden Prozesse an natürlichen Daten entwickelt werden müssen. Zwar sind die Grundkomponenten des hydrologischen Kreislaufs qualitativ bereits seit dem 18. Jahrhundert bekannt (DYCK & PESCHKE 2005), jedoch ist die Heterogenität der Landoberfläche und der meteorologischen Bedingungen so groß, dass es nicht möglich ist, die (mehr oder weniger) bekannten Naturgesetze, etwa zur Verdunstung oder zur Infiltration, direkt in der Landschaft anzuwenden.

Die Tendenz ist zu erkennen, dass ein fruchtbarer Dialog über die Grenzen der beiden Fächer eingesetzt hat, wozu auch die Einrichtung der Fachgemeinschaft Hydrologie in der DWA in Deutschland beigetragen hat. Denn der Ingenieur braucht für seine Modelle und ihre Übertragung in andere Klimazonen und Landschaften auch erdwissenschaftliche Grundlagen. So dient das von der naturwissenschaftlichen Hydrologie bereitgestellte Datenmaterial, z.B. in Deutschland durch den Hydrologischen Atlas (KELLER et al. 1979, mit späteren Ergänzungen – z.B. LEIBUNDGUT & KERN 2003), auch zur Parametrisierung von Modellen. Andererseits werden aber heute auch ingenieurwissenschaftliche Verfahren, etwa die Theorie linearer Systeme (DOOGÉ 1973, DYCK & PESCHKE 2005) für die Lösung von Fragestellungen der geowissenschaftlichen Hydrologie eingesetzt.

Allerdings muss man auch zur Kenntnis nehmen, dass beide Fachrichtungen in zunehmendem Maße auch in andere Fächer übergreifen und sich dadurch auseinander entwickeln. Während der naturwissenschaftlich orientierte Hydrologe für die Weiterentwicklung des Prozessverständnisses zu seinen naturwissenschaftlichen Nachbardisziplinen (Bodenkunde, Meteorologie, Geologie, Biologie usw.) hinüber schaut, muss der Ingenieurhydrologe neben wasserbaulichen Gesichtspunkten auch zunehmend ökologische und sozio-ökonomische Komponenten bei seinen wasserwirtschaftlichen Fragestellungen berücksichtigen. Diese Entwicklung soll im Folgenden beispielhaft an dem Thema „Gewährleistung der gesellschaftlich geforderten Sicherheit“ aufgezeigt werden.

2 Sicherheit in der Wasserwirtschaft

In der Wasserwirtschaft spielt der Begriff der Sicherheit eine dominierende Rolle. Die Menschen wollen gegen Hochwasser sicher sein, sie wollen, dass ihre Trinkwasserversorgung sicher ist; sie wollen, wenn sie unterhalb eines Staudammes leben, sicher sein, dass der Staudamm nicht bricht. Das sind drei verschiedene Arten der Sicherheit, die die Menschen intuitiv auch sehr verschieden empfinden. Sicherlich ist man bereit, gelegentlich einmal bei geeigneter Voranmeldung oder Vorhersage ein paar Tage ohne Trinkwasser auszukommen oder den Gebrauch einzuschränken, und man wird auch die Bedrohung durch ein Hochwasser als geringer einstufen als die Gefährdung durch den Bruch eines Staudammes. Diese Einschätzung orientiert sich am ebenfalls intuitiv gefürchteten Schaden an Gütern oder Leib und Leben, der durch das Versagen einer technischen Anlage oder eines technischen Systems entstehen kann und bewirkt, dass etwa für einen Staudamm eine höhere Sicherheit verlangt wird als für den Deich eines Hochwasserschutzsystems.

Es ist eine der wichtigsten Aufgaben der Wasserwirtschaft, dieses subjektive Sicherheitsdenken der Menschen in Sicherheitskriterien, in zulässige Bemessungswerte, umzusetzen – eine Aufgabe, die in zuständigen Fachausschüssen in Zusammenarbeit von Wissenschaft, Ingenieurpraxis und Verwaltung nach dem Stand des Wissens der Zeit und nach dem gültigen Wertesystem der Gesellschaft in jeder Generation neu zu lösen ist. Der Gesetzgeber muss diese Kriterien in Gesetze und Vorschriften übernehmen und als Stand der Technik festlegen und fordert dann von der Wasserwirtschaftsverwaltung, den Menschen zu gewährleisten, dass sie diesen gesetzlichen Vorgaben entsprechend geschützt sind gegen:

- *Betriebsversagen* – ein temporäres Versagen, z.B. das Versagen des Trinkwasserversorgungssystems aus Wassermangel
- *Bauwerksversagen* – ein permanentes Versagen durch Zerstörung des Systems, z.B. Bruch eines Staudamms.

Umgekehrt bietet aber auch die Einhaltung des Standes der Technik dem Ingenieur den Schutz vor unbilligen Schuldzuweisungen, falls die Bemessungskriterien durch externe Umstände überschritten werden. Es muss ein zweiter wichtiger Aspekt der Bemessungskriterien sein, dass dem Planer und dem ausführenden Ingenieur Rechtssicherheit geschaffen wird.

Historisch gesehen hat der Wasserwirtschaftler den Auftrag zur Herstellung höherer Sicherheit in der Wasserwirtschaft, seinem

Verständnis der Natur und der Kultur seiner Zeit entsprechend, zunächst pragmatisch angepackt und versucht, soweit es ging absolute Sicherheit zu schaffen, d.h. er wollte den Menschen die Sicherheit geben, immer versorgt und immer geschützt zu sein. Die Verfahren, die er einsetzte, um die erforderlichen Bauwerke für diesen Zweck zu bemessen, seien mit Bemessungsstufe 1 bezeichnet. Er musste jedoch bald erkennen, dass mit vertretbarem Aufwand nur eine relative Sicherheit zu erreichen war: eine absolute Sicherheit ist auf dieser Erde nicht zu haben. Es ist aber auch unbestreitbar, dass mit größerem finanziellen und technischen Aufwand – z.B. durch Vergrößerung des Gebiets zur Sammlung von Trinkwasser, durch höhere Deiche und technische Maßnahmen zur Bauwerksertüchtigung im Hochwasserschutz oder durch höhere Staudämme mit größeren Hochwasserentlastungsanlagen – größere Bauwerks- und Versorgungssicherheit zu erzeugen ist als mit kleineren Anlagen. Und damit stellt sich die Frage: „Wie sicher ist die Sicherheit?“ in der ausführlicheren Form:

Wie sicher muss die Anlage sein, um mit vertretbaren Kosten dem subjektiven Sicherheitsbedürfnis der Gesellschaft Rechnung zu tragen?

Das heißt, die Vorstellung von der absoluten Sicherheit muss der von einer relativen Sicherheit weichen. Wie sicher diese relative Sicherheit sein soll, ist eine gesellschaftliche und politische Entscheidung. In dieser Form ist sie das Ergebnis eines gesellschaftlichen Konsenses, der immer wieder von neuem nach dem gültigen Wertesystem der Gesellschaft hergestellt werden muss. Daraus ergibt sich, dass das wichtigste Kriterium für die relative Sicherheit die subjektiv gefühlte – oder einfach: subjektive Sicherheit der betroffenen Menschen ist. Wie Sicherheitsforscher immer wieder betonen, ist diese sehr abhängig davon, ob der Mensch sich selbst mehr oder minder freiwillig in die gefährliche Situation begibt, etwa in dem er in eine von Hochwasser bedrohte Umgebung erst hineinzieht, oder ob er von außen her bedroht wird, etwa durch einen oberhalb angelegten Staudamm. Hier sind Gesetzgeber und Verwaltung gefordert, einen volkswirtschaftlich vertretbaren Kompromiss zwischen Bedürfnis und Machbarkeit zu finden, der sich ausdrückt in der Bereitschaft von Politik und Gesellschaft zur Zahlung der hierfür benötigten Mittel – der „willingness to pay“. Durch die Zusammenarbeit von Politik und Betroffenen wird ein Sicherheitsniveau in Form eines Sicherheitskriteriums festgelegt.

Ergänzend hierzu steht die Rolle von Wissenschaft und Verwaltung. Die Wissenschaft ist gefordert, einerseits die Sicherheitskriterien kritisch zu hinterfragen und Empfehlungen zu ihrer Verbesserung zu geben. Andererseits aber muss es auch die Aufgabe der Wissenschaft sein, die Kriterien in wissenschaftlich korrekte Berechnungsverfahren umzusetzen. Sie muss Verfahren entwickeln, mit denen Sicherheitskriterien berechnet werden können, die einen Vergleich mit dem die Rechtssicherheit beschreibenden Kriterium ermöglichen.

Die Verwaltung ist Mittler zwischen pragmatischer, tagesproblemorientierter Politik und elfenbeinturmlastiger Wissenschaft, was ein hohes Maß an Einfühlungsvermögen und gute Kenntnis beider so gegensätzlicher Gebiete verlangt. Im Wechselspiel zwischen Gesetzgeber, Verwaltung und Wissenschaft entstanden auf diese Weise im Laufe der letzten Jahrzehnte Verfahren, die immer mehr zu einer objektiven Bewertung der Sicherheit füh-

ren. In der Entwicklung solcher Verfahren begegnete der Ingenieurhydrologe seinem naturwissenschaftlichen Kollegen, der zunächst beschreibend, aber dann immer grundsätzlicher die Prozesse der Umwandlung von Niederschlag in Abfluss bearbeitet hat.

3 Bemessungsverfahren Stufe 1: Bemessung mit historischen Ereignissen

Historisch am Anfang steht die erste Bemessungsstufe, für die das größte beobachtete historische Ereignis verwendet wird. Entsprechend wurde (und wird?) z.B. in Deutschland in der Regel durch Wasserwerke soviel Wasserkapazität bereit gestellt, dass selbst bei Wiederkehr der größten je beobachteten Wasserknappheit genügend Wasser vorhanden ist, um allen Bedürfnissen gerecht zu werden. Das bedeutet natürlich, dass sehr viel im Normaljahr ungenutzte Kapazität zur Verfügung gestellt werden muss. Die klassischen Verfahren der Speicherbemessung (Summenlinienverfahren) sind nach diesem Prinzip erstellt worden (DYCK 1980). Sollte tatsächlich einmal eine nicht vorhergesehene übermäßige Trockenphase eintreten (oder aus Gründen etwa eines Klimawandels antizipiert werden), so wird anschließend die Speicher- oder Förderkapazität erhöht, um im Wiederholungsfalle gerüstet zu sein. Da Bau, Wartung und Betrieb solcher zusätzlicher Kapazitäten bezahlt werden muss, ist der Preis für diese Strategie ein hoher Wasserpreis.

Ein Beispiel für die Anwendung des Bemessungsverfahrens auf den Hochwasserschutz ist die Bemessung nach dem höchsten je beobachteten Hochwasser, das aus historischen Wasserständen abgeleitet wird. Ein großartiges Beispiel ist der Plan für den Oberrheinausbau von Johann Gottfried Tulla. Dabei muss man bedenken, dass es Tulla keineswegs nur darum ging, die Rheinebene hochwasserfrei zu machen. Vielmehr hatte er viele Ziele vor Augen – Grundwasserkontrolle, Geschiebetransport, Festlegung der Grenze zwischen Baden und Frankreich. Dabei spielte die Empfindlichkeit der Bevölkerung des Rheintales kaum eine Rolle. Im Zuge der damaligen Zeit war die Entscheidung für den Hochwasserschutz eine Entscheidung des Großherzogs von Baden bzw. seiner Minister.

Das Bemessungsverfahren Stufe 1 wurde bis in unsere Zeit auch im Hochwasserschutz verwendet. Zum Beispiel wurde die Abflussganglinie des größten je beobachteten Hochwassers (von 1882), das durch die Überlagerung von Hochwasserwellen aus Rhein und Neckar entstanden war, im Rahmen des „Integrierten Rheinprogramms“ als Bemessungswelle für den Hochwasserschutz am Oberrhein festgelegt. Weil aber inzwischen der Oberrhein für die Binnenschifffahrt ausgebaut worden war, wurde die Berechnungswelle im Oberrhein noch weiter aufgehöhht. Denn durch den Ausbau wurde die Hochwasserwelle im Oberrhein beschleunigt, so dass sie heute zwei Tage früher in Mannheim an der Neckarmündung eintrifft. 1882 lief die Neckarwelle desselben Niederschlagsereignisses der Rheinwelle voraus. In der heutigen Situation würden jedoch die Hochwasserspitzen von Rhein und Neckar genau gleichzeitig in Mannheim eintreffen. Folglich wurden für die Bestimmung des Bemessungshochwassers für das „Integrierte Rheinprogramm“ die beiden Spitzen überlagert. Das war in den 60-er und 70-er Jahren und entsprach dem Stand der Technik.

Auch im Talsperrenbau ist die Strategie der Bemessung nach vermutlich höchstmöglichem Bemessungswert in vielen Ländern üblich, wo die Talsperrenrückhalteräume und Hochwasserentlastungsanlagen nach dem „PMF“ – dem höchsten wahrscheinlichen Hochwasser – bemessen werden. Das PMF wird aus dem größten wahrscheinlichen Niederschlag berechnet, (wobei nicht recht vorstellbar ist, was unter dem Begriff „größter wahrscheinlicher“ genau zu verstehen ist). Früher nannte man dieses Hochwasser das höchste mögliche, aber nachdem es an manchen Stellen überschritten wurde, und nachdem meteorologische Untersuchungen zeigten, dass die für die üblichen PMF Berechnungen verwendeten Niederschläge durchaus nicht die größten physikalisch möglichen sind, wurde der Begriff des PMF eingeführt. (Zu vermerken ist, dass in den USA den Dammkonstrukteuren oft diese Werte immer noch als derartig hoch erschienen, dass sie die Bemessung von Hochwasserentlastungsanlagen auf einen Bruchteil des PMF – z.B. auf 30 % – abminderten).

4 Bemessungsverfahren Stufe 2: relative Sicherheit mit Überschreitungswahrscheinlichkeit

Verfahren nach Stufe 2 gehen von der Einsicht aus, dass es eine absolute Sicherheit nicht gibt. Denkbar sind immer extreme Zustände, die zum Versagen auch des bestbemessenen Bauwerks oder Systems führen. Daher wird in der Regel heute die Bemessung über die Versagenswahrscheinlichkeit durchgeführt. Diese wird bei den Bemessungsverfahren nach Stufe 2 mit der Überschreitungswahrscheinlichkeit gleichgesetzt, d.h. mit der Wahrscheinlichkeit, dass eine vorgegebene kritische Belastung, die allgemein mit u bezeichnet sei, überschritten wird. Diese Wahrscheinlichkeit wird durch den Auftraggeber nach seinen Sicherheitsvorstellungen (oder durch die Regeln der Technik) vorgegeben. Sie wird meistens in der Form von $1/T$ durch die Jährlichkeit T (in Jahren) ausgedrückt. T ist die mittlere Zeit zwischen dem Auftreten von Extremereignissen u , die den Wert u_T erreichen oder übertreffen, wobei u z.B. die Fülle einer Talsperre oder der Wasserstand infolge eines Maximalabflusses Q_T sein kann. Sie ist somit das Gegenstück zur Sicherheit, die definiert werden könnte als Wahrscheinlichkeit dafür, dass z.B. ein bestimmtes Hochwasserereignis Q das Ereignis Q_T nicht erreicht oder überschreitet.

Für die Versorgungssicherheit wird die Überschreitungswahrscheinlichkeit heute vorzugsweise über Simulationsverfahren aus einer Berechnung des Langzeitdargebots von Wassermengen ermittelt. Typisch ist die Bemessung von Talsperren zur Wasserversorgung. Es ist sicherlich sinnvoll, nicht die absolute Versorgungssicherheit anzustreben, sondern zuzulassen, dass alle T Jahre einmal (im Durchschnitt vieler Jahrzehnte) die Wasserversorgung nicht voll gewährleistet ist, wobei Versagen durchaus nicht bedeutet, dass kein Wasser vorhanden ist. Vielmehr zeigt die Erfahrung in vielen Ländern, dass mit Hilfe geeigneter Betriebspläne zur Mangelbewältigung (Einschränkungen in Nutzung oder in Abgabezeiten) die Auswirkungen des Versagens minimiert werden können. Seit dem bahnbrechenden Werk von MAAS et al. (1962) werden hierfür künstlich generierte Belastungsganglinien eingesetzt (DYCK 1980), erstellt aus historischen Ganglinien mit Hilfe von Markoffmodellen mit von der Jahreszeit abhängigen Parametern. Sie haben den Vorteil, dass damit bedarfsorientierte Betriebsregeln oder zeitlich variable

Prozesse wie Verdunstung oder Geschiebezufuhr berücksichtigt werden können (LOUCKS & VAN BEEK 2005).

Für den Hochwasserschutz sind Verfahren nach Stufe 2 Stand der Technik. Der Gesetzgeber nutzt die Jährlichkeit T dazu, das subjektive Sicherheitsbedürfnis der Bevölkerung in Zahlen umzusetzen, indem er durch Vorgabe der Jährlichkeit T das Sicherheitsniveau festlegt. Das ist ein einfacher Weg, um das Problem an die Wissenschaft weiterzugeben, die nun die zur Jährlichkeit T gehörige Bemessungsgröße Q_T ermitteln muss. Wegen des Zufallscharakters wasserwirtschaftlich bedeutender Größen ist dies eine Aufgabe der Statistik. Seit den 30-er Jahren des vergangenen Jahrhunderts ist man, auf der Basis der Arbeit Emil Gumbels (GUMBEL 1958), in den meisten Ländern der Welt dazu übergegangen, für die Ermittlung des Bemessungshochwassers Q nicht mit historischen, sondern mit künstlichen Hochwasserspitzenwerten zu rechnen, die über eine Extremwertanalyse bestimmt werden, wofür Gumbel die erste theoretisch begründete Wahrscheinlichkeitsverteilungsfunktion lieferte. Dies ist die bekannte Gumbel- oder Doppel-Exponentialverteilung (PLATE 1993). Mit dieser und den in der englischen Statistik dafür entwickelten Parameter-Schätzverfahren konnte man aus gemessenen Datenreihen deren Jahresextremwerte Q bestimmen und daraus Hochwasser Q_T beliebiger Überschreitungswahrscheinlichkeit $1/T$ pro Jahr ermitteln. Seitdem sind zahlreiche weitere Verteilungsfunktionen für Extreme entwickelt und/oder angewendet worden, und der Hydrologe verfügt über ein ganzes Arsenal an geeigneten Funktionen (PLATE 1993, PLATE & IHRINGER 2002).

Die statistische Methode zur Bestimmung von Q_T bedeutet zwar vom Prinzip her einen sehr wichtigen Fortschritt, die Verwendung von Extremwertverteilungen wirft jedoch eine ganze Reihe von Problemen auf, die die Anwendung zu einer schwierigen Ingenieuraufgabe machen. Da ist zunächst das Problem der Datenverfügbarkeit. Offensichtlich kann eine statistische Analyse nicht ohne Daten auskommen, und das ist bei Jahresextremen gerade 1 Wert pro Jahr. Wegen dieser Einschränkung sind aus Mangel an genügend langen Beobachtungen kaum jemals genügend Daten vorhanden. Puristen stellen die Forderung, dass zur Ermittlung des Bemessungshochwassers mindestens eine ebenso lange Datenreihe wie das Wiederkehrintervall – die Jährlichkeit T – vorhanden sein muss, also für Jahresextrema genau soviel Jahre wie die Jährlichkeit. Diese Voraussetzung ist, etwa für ein 100-jährliches oder gar ein 1000-jährliches Bemessungshochwasser, praktisch nicht erfüllbar. In manchen Ländern begnügt man sich heute mit Zeitreihen von etwa 30 Jahren und hofft, dass dies reicht, weil ja die statistische Parameterschätzung über die Freiheitsgrade die Anzahl der Daten berücksichtigt. Durch eine Festlegung auf 30 Jahre als generell zugrunde zu legende Datenreihe kann eine gewisse Rechtssicherheit geschaffen werden, vorausgesetzt, man einigt sich auf den Zeitraum für die 30 Jahre. Denn die Zeitreihen sind nicht homogen; z.B. war gerade die Reihe der Jahre zwischen 1960 und 1990, die besonders gut durch Daten belegt ist, hinsichtlich des Auftretens von Extremwerten ungewöhnlich ereignisarm.

Eine Verbesserung der Datenlage durch Einbeziehen historischer Hochwasser wird angestrebt. Auch bieten Hinweise in alten Schriften und Hochwassermarken Hilfen für die Extrapolation von nicht durch Daten belegte Extremhochwasser. Weil eine moderne Interpretation historischer Quellen nicht einfach ist,

sind solche Analysen heute ein wichtiger Bestandteil der Hochwasserforschung (s. hierzu z.B. SUDHAUS et al. (2008) für den Neckar oder BARTL et al. (2008) für die Elbe). Das gleiche Ziel verfolgen auch die Paläohydrologen, die in Ländern, in denen Menschen die natürliche Landschaft nicht in Kulturlandschaft umgewandelt haben – z.B. in den USA – sie nach Anzeichen von früheren Hochwassern in der Landwirtschaft suchen.

Das zweite Problem entsteht dadurch, dass die für die Anwendung statistischer Verfahren vorausgesetzte Grundannahme einer homogenen Grundgesamtheit in der natürlichen Umwelt des nicht gänzlich zufälligen Wettergeschehens selten zutreffen wird. Da ist zunächst der Unterschied zwischen Sommerhochwasser, entstanden durch Starkregen infolge von jahreszeitlich bedingten Wetterlagen – z.B. die berühmte Vb-Wetterlage nach Hess-Brezowski (GERSTENGARBE & WERNER 1993), die zu den Hochwassern an Oder 1998 und Elbe im August 2002 geführt hat – und Winterhochwasser, oft entstanden durch Niederschläge auf gefrorene Böden, die rasch mit hohen Abflussbeiwerten zum Abfluss kommen. Das Problem der Inhomogenität infolge unterschiedlicher Entstehungsprozesse hat man dadurch zu bewältigen versucht, dass man nicht die höchsten Jahreswerte, sondern alle Werte der Zeitreihe aller Jahre, die über einem bestimmten Schwellenwert liegen, als Stichprobe verwendet, unter der Annahme, dass hohe Werte vermutlich ähnliche meteorologische Ursachen haben. Der Schwellenwert für diese Methode wird in der Regel so gelegt, dass die Anzahl der Extreme genau der Anzahl der Jahre entspricht, wobei zur Erhaltung der statistischen Unabhängigkeit gewährleistet sein muss, dass die Spitzenwerte so weit auseinander liegen, dass sie nicht demselben Großwetterereignis entsprechen.

Schließlich ist als Problem zu nennen, dass wegen der notwendigen, aber in der Natur nicht zutreffenden Annahmen bei der Ableitung der Gumbel- und anderer Extremalverteilungen vermutlich auch ihre funktionale Form nicht stimmt. Welche Verteilung aber gültig ist, ist nicht bekannt. Durch diese Erkenntnis entstand ein weites Feld für Statistiker und Hydrologen, die in hundert von Veröffentlichungen alle denkbaren Verteilungsfunktionen mit und ohne logarithmierte Variablen anwandten und zum weiteren Gebrauch empfahlen. Zahlreiche Methoden der optimalen Parameterschätzungen begleiteten diese Verfahren. Naturgemäß führt jede Verteilung zu einem anderen Q_T -Wert – und wenn man dann auch noch auf verschiedene Weise die Parameter schätzt, dann kann eigentlich von Rechtssicherheit keine Rede mehr sein. Für jede Hochwasserberechnung könnte sicherlich eine Methode gefunden werden, um je nach Wunsch des Auftraggebers einen höheren oder niedrigeren Wert zu finden. Es ist daher nicht verwunderlich, dass der Gesetzgeber eine bestimmte Methode einfach als maßgeblich deklariert – so das US Interagency Advisory Committee on Water Data (USIAC 1981), das die drei-parametrische logarithmische Gammaverteilung unter dem Namen „log-Pearson III“ festlegte und durch Regionalisierung der Schiefekoeffizienten in den ganzen USA eine gewisse Rechtssicherheit schuf; wer diese Methode nach den Angaben des Komitees verwendet, hat den Stand der Technik eingehalten.

Auch in Deutschland hat man dieses Verfahren Anfang der 70er Jahre eingeführt, allerdings ohne die Regionalisierung der Schiefe durchzuführen. Stattdessen wurde ein auf den gemessenen

Schiefekoeffizienten aufbauendes Verfahren gewählt (DVWK 1979). Damit wird aber die Rechtssicherheit wieder gefährdet, denn das Problem dieses Vorgehens liegt bei der Schätzung des Schiefekoeffizienten. Grundsätzlich ist zur Parameterschätzung und Anpassung von Verteilungsfunktionen immer mit dem Problem der Parameterschätzung zu kämpfen; so wird eine Parameterschätzung z.B. über logarithmierte Werte den kleinen vom (geometrischen) Mittelwert abweichenden Werten ein unverhältnismäßig großes Gewicht zumessen (ein Logarithmus von 0,01 hat absolut den gleichen (negativen) Wert wie ein Logarithmus von 100), während dies bei nicht logarithmierten Werten umgekehrt ist: dort wächst der Einfluss der größeren Werte mit der Höhe der Momente, und je mehr Parameter eine Verteilung hat, und je mehr Momente man für die Parameterschätzung braucht (falls nicht andere Verfahren wie eine direkte Optimierung an Hand der Daten vorgezogen wird), umso mehr dominieren die größten Werte. Um den Werten im häufigsten Bereich der Auftretenswahrscheinlichkeit ein größeres Gewicht zu geben, wird häufig die Methode der „probability weighted moments“ gewählt, bei der die statistischen Momente aus den mit der empirischen Wahrscheinlichkeit gewichteten Daten gebildet werden. Aus den Momenten werden dann nach bekannten Verfahren die Parameter der Verteilungen berechnet. Dies ist eine gefühlsmäßig überzeugende Vorgehensweise, denn sie überwindet wenigstens näherungsweise die Problematik des so genannten Ausreißers. Der größte Wert (und in geringerem Maße auch zweit- und drittgrößte Werte) einer Stichprobe kann ja nicht einfach einem Wiederkehrintervall zugeordnet werden, denn genau so wie um einen 30-jährlichen Wert könnte es sich auch um das Ergebnis eines Extremereignisses mit viel seltener Überschreitungswahrscheinlichkeit handeln.

Die fehlende Pegeldichte ist ein weiterer Faktor, der die Verwendung von Extremwertverteilungen limitiert. In vielen Fällen wird das Bemessungshochwasser für Planungsmaßnahmen an Stellen in einem Einzugsgebiet gebraucht, für die keine Hochwasserdaten vorliegen. Für die Lösung dieser Aufgabe werden heute vor allem flächendetaillierte Flussgebietsmodelle (Niederschlag-Abflussmodelle = N-A Modell) eingesetzt, für deren Erstellung und Anwendung der Computer unabdingbar ist. Mit der Entwicklung der Computer entstanden immer mehr, immer komplexere N-A Modelle, die den Prozess, oder vielmehr die Kette von Prozessen, die vom Niederschlag zum Abfluss führen, in mathematischer Form beschreiben und in raum-zeitlicher Verteilung abbilden. Die Entwicklung von N-A Modellen hat seit einigen Jahrzehnten jede Generation von computergewöhnten (verwöhnten) Hydrologen von neuem beschäftigt. Eine Übersicht über Ende des 20. Jahrhunderts verfügbare Modelle geben SINGH & WOOLHISER (2000) in einem zusammenfassenden Artikel, aus dem insbesondere hervorgeht, dass immer mehr durch Anwendung nicht-hydrologischer Verfahren, wie GIS basierte, oft aus Fernerkundungen abgeleitete Basisdaten, digitale Geländemodelle (DGM) usw. landschaftsabhängige hydrologische Detailprozesse in die Modelle einbezogen werden. Die Modelle basieren zwar immer im Wesentlichen auf den gleichen Grundgleichungen von Hydrologie und Hydraulik (die z.B. in DYCK & PESCHKE 1995, ROTHER 2001, PLATE & IHRINGER 2002 oder in MANIAK 2005 zusammengestellt sind), die aber mit Hilfe der ständig größeren Rechenkapazität moderner Digitalrechner in mehr Details und prozessintensiver berechnet werden können. Dass nicht immer die gleichen Modelle für alle Größen von Ein-

zugsgebieten einzusetzen sind, wird bei den großen Möglichkeiten der Digitalrechner gelegentlich übersehen – auf die Bedeutung der räumlichen Skalen hat bereits DOOGE (1986) hingewiesen (s. auch DYCK & PESCHKE 2005 oder PLATE 2009). Eine skalenspezifische Modellierung wird z.B. in der für kleine Einzugsgebiete entwickelten DVWK Richtlinie (DVWK 1990) empfohlen.

N-A Modelle haben den großen Vorteil, dass durch Parameterstudien und Szenarienberechnungen gute Planungsgrundlagen geschaffen werden. Mit ihnen kann für jeden Punkt eines Flussgebiets die Niederschlagsverteilung großräumiger dargestellt, die Landnutzung und ihre Veränderungen etc. regional erfasst und der Bemessungsabfluss für jeden Punkt berechnet werden. Es entsteht aber das Problem, dass zu den Messfehlern des Niederschlages und der Niederschlagsverteilung nun noch die Unsicherheiten – insbesondere die der Abflussbeiwerte – des Niederschlag-Abflussmodells kommen. Denn hydrologische Modelle sind immer nur stark vereinfachte Abbilder der natürlichen Wirklichkeit mit unbekannter Abweichung der Modellberechnungen von dieser Wirklichkeit.

Für die Ermittlung einer Bemessungswelle für die Hochwasserberechnung wird das Problem der Statistik nur verlagert von der Abflusst Statistik zur Statistik von Niederschlagsereignissen. Daher sollte der Hydrologe, der über vorhandene Daten ein Bemessungshochwasser zu ermitteln hat, am besten sowohl die Extremwertstatistik als auch ein N-A Modell verwenden, wodurch er die Vorteile beider Methoden vereinigt. Das Ergebnis des Niederschlag-Abflussmodells wird an einer Pegelstelle mit einer statistischen Bemessungsgröße verifiziert, die aus möglichst vielen Verteilungsfunktionen als plausibelster Wert ermittelt wurde (PLATE & IHRINGER 2002; s. auch DVWK 1989). Auf diese Weise wurden in Baden-Württemberg für alle Pegel die 100-jährlichen Hochwasser als Basis für eine Regionalisierung ermittelt und als Basisgröße für ein auf alle Gewässer des Landes übertragbares Schätzverfahren für Extremhochwasser gegebener Jährlichkeit verwendet (LfUBW 1999).

Der größte Vorteil eines flächendeckend ermittelten Hochwasserscheitels mit vorgegebener Jährlichkeit liegt vor allem in der Möglichkeit, überall im Lande Hochwasserüberschwemmungsflächen bestimmter Jährlichkeit auszuweisen, wie an einem Beispiel von MERZ & GOCHT (2003) ausführlich dargestellt wurde. Dafür müssen natürlich die Wassermengen in Wasserstände umgerechnet werden. Die so entstehenden Gefährdungskarten (oder Gefahrenhinweiskarten) werden heute bundesweit als Grundlage für raumordnerische Planungen gefordert, im Wesentlichen auf Grund der LAWA Empfehlungen (1995, neue Fassung LAWA 2004) für den zeitgemäßen Hochwasserschutz. Unter dem Eindruck der Hochwasserkatastrophe im Elbe-Gebiet im August 2002 hat die Bundesregierung ein 5 Punkte Programm für die Beherrschung zukünftiger Hochwasserkatastrophen aufgestellt, und die Erstellung von Gefährdungskarten (und Vorbeugungsplänen) wird auch durch die Richtlinie der EU (EU 2007) geregelt, die als ergänzender Teil der Wasserrahmenrichtlinie vom Jahr 2000 (EU 2000) erlassen wurde.

Die Ergebnisse der Hochwasserforschung kommen natürlich in gleichem Maße auch der Sicherheit von Talsperren über die Bemessung der Hochwasserentlastungsanlage zugute. Üblich ist

eine einfache Übertragung der obigen Überlegungen, wobei der Bedeutung des Versagens einer Talsperre entsprechend eine viel höhere Jährlichkeit als $T = 100$ bis $T = 200$ angenommen wird.

5 Bemessungsstufe 3: Von der Überschreitungswahrscheinlichkeit zur Zuverlässigkeit

Die Verwendung des Sicherheitskriteriums in Form einer Überschreitungswahrscheinlichkeit hat den Vorteil, im Prinzip einfach anwendbar zu sein. Sie verleitet aber zu der irrigen Annahme, dass Bauwerke oder Anlagen, die mit u_T bemessen wurden, dann versagen, wenn ein Extremereignis u auftritt, das größer als u_T ist. Das ist jedoch nicht der Fall, da einerseits in den meisten Fällen einer Bemessung Sicherheitszuschläge gemacht werden, und andererseits manche Bauwerke aus anderen Gründen als Überschreitung des Bemessungswertes versagen. Um dies zu berücksichtigen, muss die Überschreitungswahrscheinlichkeit durch die theoretische Versagenswahrscheinlichkeit ersetzt werden.

Statt Versagenswahrscheinlichkeit wird allerdings lieber der Begriff Zuverlässigkeit verwendet, definiert als Wahrscheinlichkeit dafür, dass eine Maßnahme innerhalb ihrer Lebensdauer *nicht* versagt. Das bedeutet zweierlei. Erstens muss die Versagenswahrscheinlichkeit bestimmt werden, wobei nicht nur die Belastung, also im Hochwasserfall das Hochwasser selber, sondern auch die strukturelle Belastbarkeit des hypothetischen Hochwasserschutzbauwerks als Zufallsvariable quantifiziert und durch eine Wahrscheinlichkeitsverteilung beschrieben werden – und zweitens muss die Lebensdauer geschätzt und mit der Versagenswahrscheinlichkeit in Beziehung gesetzt werden. Hierfür wurden umfangreiche mathematische Verfahren entwickelt, auf die einzugehen hier aber zu weit führen würde (s. z.B. PLATE 1993). Im einfachsten Fall der Belastung eines Deiches durch Hochwasser bei einer konstanten Deichhöhe tritt an die Stelle der Versagenswahrscheinlichkeit wieder die Überschreitungswahrscheinlichkeit. In diesem Falle ist die Zuverlässigkeit gleich der bekannten so genannten hydrologischen Sicherheit.

Eine wichtige Rolle spielt die Zuverlässigkeit bei der Bemessung von Großbauwerken mit vielen Komponenten, z.B. bei Talsperren. Die Bemessungspraxis für Talsperren enthält, selbst nach der neuen DIN 19700, nicht die Auflage, die Zuverlässigkeit genau zu ermitteln. Dabei ist dies durchaus möglich, wie Arbeiten von PLATE (1982) und MEON & PLATE (1989) – siehe auch POHL (1999) – gezeigt haben. Einerseits kann für die Ermittlung der Versagenswahrscheinlichkeit auch der Füllzustand der Talsperre berücksichtigt werden, der mit der saisonalen Hochwasserauftretenszeit korreliert werden kann, andererseits ist auch der Freibord in die Sicherheitsanalyse einzubeziehen, wodurch sich die Versagenswahrscheinlichkeit genauer ermitteln lässt.

6 Bemessungsstufe 4: Einbeziehung des Risikos

Es ist bei den statistischen Verfahren nach Bemessungsstufe 2 und 3 unbefriedigend, dass einerseits die theoretischen Berechnungsverfahren immer aufwändiger und verfeinert werden und wir immer wirklichkeitsnäher etwa den Verlauf des 100-jährlichen Hochwassers berechnen können, dass aber das Sicherheitskriterium, d.h. die vorgegebene Jährlichkeit des Bemessungshochwassers subjektiv „nach Gefühl und Erfahrung“ ge-

wählt wird. Für den Hochwasserschutz findet die Bewertung ihren intuitiven Ausdruck in der Festlegung der Jährlichkeit, die an großen Flüssen 200, im Küstenbereich noch höher, und besonders hoch bis zu $T = 10,000$ bei Staudämmen oder im holländischen Küstenbereich, ansteigt. Aber warum gerade diese Werte? Analoges gilt für Versorgungsspeicher: nach welchen Kriterien soll bestimmt werden, wie oft ein Leerlaufen des Speicherbeckens toleriert werden kann – einmal alle 10 Jahre, oder einmal alle 100 Jahre? Die Frage erhebt sich, ob es nicht eine objektivere Basis gibt, um die Bemessungsjährlichkeit zu bestimmen. Es ist naheliegend, hierbei direkt die zu erwartenden Konsequenzen eines Versagens, d.h. Verluste an Menschenleben oder Sachschäden, zu berücksichtigen.

Glücklicherweise sind in unserem Lande Verluste an Menschenleben bei Bauwerksversagen nur in ganz extremen Fällen und meistens durch das Zusammenkommen unglücklicher nichtvorhersagbarer Umstände zu beklagen. Daher kann ein Bemessungskriterium aus zu erwartenden ökonomischen Schäden abgeleitet werden, an welchem sich Planungskonzepte orientieren können. Damit kommt der Begriff des Risikos in die Bemessungspraxis. Es wird in einfacher Form aus dem Produkt von drei Faktoren berechnet: der Exposition Ex (in %), dem Maximalschaden K (in monetären Einheiten) und der Überschreitungswahrscheinlichkeit $P(u > u_T)$ (in 1/Jahr):

$$RI = Ex \cdot K \cdot P(u > u_T) \quad (1)$$

Bezogen auf ein Einzelgebäude ist dies das Versicherungsrisiko. In einer Verallgemeinerung werden Exposition und Maximalschaden im Begriff Vulnerabilität zusammengefasst, durch welche sich auch andere Faktoren als Kosten beschreiben lassen (z.B. die Bedrohung von Menschenleben). In diesem Fall wird die Exposition zum relativen Schaden oder zur relativen Vulnerabilität.

In der Praxis wird oft der Begriff des Restrisikos verwendet, der das ökonomische Risiko einschließt, aber darüber hinaus häufig auch nicht erfassbare subjektive Faktoren umfasst. Eine ausführliche Diskussion des Risikobegriffs führt hier zu weit (RENN 2008). Für die Schadensschätzung infolge eines Hochwassers (oder eines Dammbbruchs usw.) muss das Risiko des ganzen gefährdeten Gebiets betrachtet werden. Für ein ganzes Gebiet wird das Risiko als Integral (PLATE 1993) oder als Doppelsumme geschrieben (s. z.B. PLATE & IHRINGER 2002):

$$RI = \sum_i \sum_j \left[n \cdot \left(\frac{n_j}{n} \right) \cdot \varphi(u_i) \cdot K_j \right] \cdot P(u_i) \quad (2)$$

Hierin bedeutet n_j die Anzahl der Elemente (= Gebäude, Güter, Personen) aus insgesamt n Elementen in der Elementklasse j , und die Exposition von Gleichung 1 ist durch das Verhältnis $n_j/n \cdot \varphi_j(u_i)$ ausgedrückt. In Klasse j ist K_j der Wiederbeschaffungswert, und $\varphi_j(u_i)$ ist der relative Schaden, der durch ein Extremereignis u entsteht (z.B. durch einen extremen Wasserstand), das in der Häufigkeitsklasse der Extremereignisse u_i liegt und die Auftretenswahrscheinlichkeit $P(u_i)$ hat.

Ein vorhandenes Risiko lässt sich vermindern, in dem die einzelnen Faktoren von RI nach Gleichung 2 reduziert werden. So wird u_i als Wasserstand durch technische Maßnahmen, z.B. Flussver-

breiterung oder Vertiefung und durch Deichbaumaßnahmen, verändert, durch Aussiedlung bzw. Verlagerung wird n_j verkleinert, oder durch Eigenvorsorge wird $\varphi_j(u_i)$ vermindert.

Der Vorteil einer Risikoanalyse für ein Gebiet nach Gleichung 2 ist die Möglichkeit, relative Entscheidungen auf eine objektive Grundlage zu stellen. Wenn zwei Orte geschützt werden sollen, aber das Geld nicht für beide reicht, wird man demjenigen den Vorzug geben, dessen Risiko am höchsten ist. Die Möglichkeit besteht darüber hinaus, das Risiko in Form eines „vertretbaren objektiven Risikos“ auch als Bemessungsgröße zu definieren, in dem man die Maßnahmen so dimensioniert, dass das Risiko, dividiert durch die Anzahl der betroffenen Menschen, niedriger oder gleich einem zumutbaren ökonomischen Wert pro Person liegt.

7 Die Rolle des Risikos bei Kostenminimierung

Ein weiterer Vorteil des Risikos als Vergleichsgröße besteht darin, dass es eine objektive Optimierung ermöglicht. Dies ist graphisch in Abbildung 1 dargestellt. Das Risiko $RI(u_T)$ ist hier eine wichtige Entscheidungsvariable in einer Optimierungsaufgabe (s. hierzu besonders auch FREEZE (1987) für eine systematische Diskussion), die bei der wasserwirtschaftlichen Planung gelöst werden muss. Sie besteht darin, den finanziellen Aufwand für Erstellung und Wartung der Maßnahmen mit der dadurch gewonnenen Reduzierung des Risikos zu optimieren, d.h. die Gesamtkosten NK zu minimieren.

In Abbildung 1 sind alle echten und erwarteten Kosten für ein Schutzsystem als Funktion der Bemessungsgröße u_T (als Funktion der Jährlichkeit T) aufgetragen. Dabei hat u eine Wahrscheinlichkeitsdichte $f(u)$, aus der sich die Überschreitungswahrscheinlichkeit $P(u > u_T)$ berechnet. In dieser Fragestellung ist das Risiko RI ein Kostenfaktor: es ist der Schaden, der zu erwarten ist, wenn die Bemessungsgröße $u = u_T$ gewählt wird. Schematisch wird dies durch den Verlauf der blauen Kurve in Abbildung 1 dargestellt.

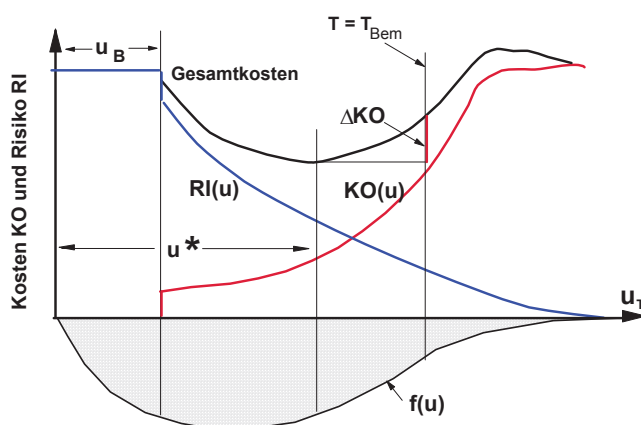


Abbildung 1

Risiko und Kosten als Funktionen des Ausbaustandes eines Hochwasserschutzsystems, ausgedrückt durch die Bemessungsgröße u_T . Hierin ist u die Belastungsvariable (z.B. der Wasserstand), mit Bemessungswert u_T . u hat die Wahrscheinlichkeitsdichte $f(u)$.

Risk and costs as functions of the development degree of a flood-defence system, expressed by the design parameter u_T with u being the stress variable (e.g. water level), with u_T as design value. The probability density of u is $f(u)$.

Ein Bemessungswasserstand u_T unterhalb des bordvollen Abflusses u_B hat keinen Sinn, daher beginnt die Kurve für RI bei $u_T = u_B$ mit einem Sprung, weil schon kleinste Maßnahmen das Risiko abmildern können. Es nimmt naturgemäß mit dem Aufwand an Maßnahmen ab (d.h. mit Zunahme von u_T) – in der Regel selbst dann, wenn man berücksichtigt, dass z.B. beim Hochwasserschutz durch die größere Sicherheit, die durch die Ausbaumaßnahmen gegeben ist, auch die Ansammlung von Werten in hochwassergefährdeten Gebieten steigt (BUCK 1975, 2005).

Vereinfacht bestehen die Gesamtkosten NK aus der Summe von Risiko RI und Kosten KO für Bau und Wartung der Maßnahmen, die in Abbildung 1 als Funktion einer möglichen Bemessungsgröße u_T als blaue und rote Kurven eingezeichnet sind. Auch die Kosten beginnen mit einem Sprung. Ohne Maßnahmen entstehen auch keine Kosten, aber bereits eine kleine Maßnahme erzeugt Kosten, die schematisch durch den Sprung bei u_B angedeutet sind. Da das Risiko auf den Wert eines Jahres abgestellt ist, müssen auch die Bau- und Wartungskosten als über die geschätzte Lebensdauer $\max t$ der Anlage gerechnete Jahreswerte dargestellt werden. Das bedeutet, dass Wirtschaftlichkeitsberechnungen zukünftige Entwicklungen mit einkalkulieren müssen, z.B. den Zinssatz i , der für die Vorfinanzierung von Baumaßnahmen eingesetzt werden muss.

Die Darstellung nach Abbildung 1 lässt sich analytisch durch eine aus den Gesamtkosten NK bestehenden Zielfunktion darstellen. Damit erhält man einen theoretisch sauberen Ansatz für eine wirtschaftliche Bemessung, mit dem günstigsten Bemessungsextremwert u^* als Ergebnis einer Optimierungsaufgabe. Dies wird in vereinfachter Form (ohne Berücksichtigung eines zusätzlichen Nutzens der Maßnahme) durch Gleichung 3 ausgedrückt:

$$NK(u^*) = \min_{u_T \rightarrow u^*} \sum_{t=0}^{\max t} \frac{1}{(1+i)^t} [RI(u_T, t) + KO(u_T, t)] \quad (3)$$

Die optimale Bemessungsgröße u^* ist der Wert von u_T , bei dem die Summe von Risiko + Bau- und Wartungskosten ein Minimum hat. Die Methode lässt sich mit einem mehr oder minder großen Aufwand auf viele Bemessungsprobleme der Wasserwirtschaft anwenden, auf den Hochwasserschutz (mit u = Spitzenwassermenge Q oder Wasserstand h), für die Speicherplanung (mit u = Speichereinhalt V) sowie andere Aufgaben von der Wasserversorgung bis zum Siedlungswasserbau, wie auch für Bauwerke, und führt in jedem Falle theoretisch zur wirtschaftlichsten Lösung.

Allerdings ist die wirtschaftlichste Lösung in der Regel nicht auch die Lösung, die dem subjektiven Sicherheitsbedürfnis gerecht wird. Im Optimierungsszenarium nach Abbildung 1 bedeutet die empirische Festlegung eines als sicher empfundenen Wertes, im Hochwasserschutz etwa $u_T = Q_{100}$, eine suboptimale Lösung. Im Beispiel der Abbildung 1 wird beim gewählten Bemessungswert u_{TBem} mit $T = T_{Bem}$ die Summe von Kosten und Risiko größer sein als die optimale Lösung, falls nicht zufällig Q_{100} und u^* gleich groß sind. Andernfalls entsteht ein Kostenunterschied von ΔKO pro Jahr, was schematisch in der Abbildung 1 angedeutet ist. ΔKO kann daher interpretiert werden als der Beitrag, den die Menschen einer Volkswirtschaft bereit sind zu zahlen, um ihrem subjektiven Sicherheitsbedürfnis Rechnung zu tragen.

8 Die Kluft zwischen Bemessungswert und optimaler Bemessungsgröße bei Hochwasseruntersuchungen

Mit dem Optimierungsverfahren nach Abschnitt 7 hat die Wissenschaft ein logisches Gebäude geliefert, das bei einem Höchstmaß an Durchschaubarkeit ein objektiv überzeugendes Resultat liefert. Es gibt aber viele Gründe, warum sich dieses Vorgehen (noch?) nicht durchgesetzt hat. Das soll anhand des Hochwasserschutzes gezeigt werden.

Ein großes Problem liegt in den vielen Unsicherheiten bei den Annahmen für das Konzept. Die verschiedenen Arten von Unsicherheiten und ihre Auswirkung auf die Ermittlung des Hochwasserrisikos hat MERZ (2006) sehr ausführlich beschrieben. Dadurch ist das Risiko nach Gleichung 2 zu sehen als Erwartungswert einer Zufallsvariablen. Das bedeutet, dass in ca. 50 von 100 Fällen das Risiko größer als der Erwartungswert ist – das Problem ist theoretisch ein Entscheidungsproblem unter Unsicherheit, weil alle drei Komponenten Wahrscheinlichkeit, Vulnerabilität und Exposition nach Gleichung 1 oder 2 auch Zufallsvariablen sind, deren Verlauf für eine exakte Ermittlung über einen längeren Zeithorizont im Voraus geschätzt werden muss.

Die Unsicherheiten in der Ermittlung der Wahrscheinlichkeit P wurden bereits erwähnt. Die zweite Quelle der Unsicherheit entsteht aus der Schwierigkeit, für die Ermittlung des Risikos belastbare und übertragbare Zahlen zur Abschätzung der Vulnerabilität, ausgedrückt durch Schadenskosten, zu erhalten. Das kann nur durch empirische Untersuchungen zur Bestimmung von K und $\varphi(u)$ geschehen. Solche Daten liegen z.B. in der HOWAS Datenbank beim Bayerischen Landesamt für Wasserwirtschaft vor; sie zeigen sehr weite Streubereiche wie auch das Datenmaterial vom Elbe-Hochwasser 2002, das in einer Reihe von Untersuchungen am GeoForschungszentrum Potsdam ausgewertet und erweitert wurde (z.B. THIEKEN et al. 2005). Solche Untersuchungen tragen aber dazu bei, in Zukunft diese Quelle der Unsicherheit zu vermindern.

Das Risiko muss für die Lebensdauer $maxt$ bestimmt werden. Dadurch entsteht die Notwendigkeit, zukünftige Entwicklungen über längere Zeiträume vorherzusagen. Ein heute immer wichtiger erscheinender Faktor ist die Auswirkung von möglichen Klimaänderungen. Zwar war bis 1993 in Deutschland kaum eine Zunahme der Abflüsse erkennbar (SCHUMANN 1993), doch haben neuere Untersuchungen (z.B. PETROW et al. 2008, PETROW & MERZ 2009) signifikante Zunahmen von Extremabflüssen im Westen, Süden und im Zentrum Deutschlands nachgewiesen. Für weiter in die Zukunft reichende Prognosen sollte man daher die möglichen, von Meteorologen vorhergesagten Szenarien berücksichtigen, die allerdings noch enger als bisher an Niederschläge gekoppelt werden müssen. Für Hochwasser gilt es, eine mögliche Zunahme von Extremereignissen des Niederschlags und damit des Abflusses zu erkennen, da man nach dem großen Hochwasser im August 2002, mit bisher noch nie beobachteten Niederschlagshöhen in der Nähe Dresdens von 340 mm/24Std, die Größe des Bemessungsniederschlags neu bedenken muss. Daher bedürfen die vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellten und im KOSTRA Atlas aufgelisteten Extremniederschläge in der Zukunft einer regelmäßigen Überprüfung.

Allerdings sind die Unsicherheiten, die wegen des Klimawandels heute schon berücksichtigt werden müssen, derzeit vermutlich noch weniger gravierend als die Unsicherheiten infolge des gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Wandels. Bei der Vorhersage der zukünftigen Entwicklung spielt die wirtschaftliche und demographische Entwicklung eine maßgebliche Rolle. Selbst die diskontierten Baukosten sind wegen des fluktuierenden Zinssatzes für die Finanzierung der technischen Maßnahmen schwer vorhersagbar – der Zinssatz ist besonders dann wichtig, wenn für die Durchführung der Maßnahmen ein Kredit aufgenommen werden muss, der nach marktwirtschaftlichen Regeln zurückzahlen oder zu refinanzieren ist. Dabei ist auch die Wartung der Maßnahmen zu berücksichtigen, was oft übersehen wird.

Schließlich muss erwähnt werden, dass auch die Unsicherheit der politischen und der sozialen Verhältnisse eine Rolle spielt. Es ändern sich ja nicht nur die Umwelteinflüsse, sondern auch die Einstellung zur Sicherheit, während eines politischen Entscheidungsprozesses oder bei zukünftigen Generationen. Daher ist die beste Methode der Unsicherheitsberücksichtigung eine nach heutigen Verfahren ermittelte Bemessung mit Planung für Bauwerke, die nicht für die Ewigkeit gebaut werden, sondern die in Zukunft auch entfernt werden können, um den zukünftigen Ansprüchen entsprechende bessere Lösungen zu ermöglichen.

9 Stand der Technik: Sicherheit durch Risikomanagement

Als Konsequenz aus der Betrachtung der Unsicherheiten stellt der heute beschriebene Weg zur Gewährleistung der rechtlichen Sicherheit einen guten Kompromiss dar zwischen dem Wünschenswerten und dem Machbaren. Es soll keine absolute Sicherheit gewährleistet werden und die Versagenswahrscheinlichkeit wird immer noch über das Q_{100} (bzw. bei Talsperren über die einschlägigen Bemessungswahrscheinlichkeiten nach der neuen DIN 19700) festgelegt, aber – und das ist das grundsätzlich Neue – das Sicherheitskonzept sieht vor, dass die Konsequenzen eines Versagens abgeschätzt werden und Vorsorge getroffen wird für den Fall, dass die Schutzmaßnahmen versagen.

Diese Vorgehensweise ist das Risikomanagement: es geht darum, das Risiko beherrschbar zu machen, so dass ein extremes Ereignis zwar Schaden anrichten kann, aber nicht zur Katastrophe führt. Dieses Konzept, das weltweit durch die Internationale Dekade für Katastrophenvorbeugung (IDNDR) verbreitet wurde, sieht für den Schutz vor extremen Naturgewalten ein ganzes Bündel an Maßnahmen zur Beherrschung der Auswirkungen vor, die in einem Kreislauf nach Abbildung 2 von Naturereignis über Planung und anschließendem Betrieb von Schutzmaßnahmen bis zum nächsten Ereignis immer von neuem in jeder Generation überdacht und bearbeitet werden müssen.

Ein besonderer Aspekt am Kreislauf des Risikomanagements ist die Trennung von Planung und Betrieb – die jeweils von sehr verschiedenen Akteuren bearbeitet werden. Die Planung gründet sich auf eine breit gefasste Risikoanalyse, bei welcher nicht nur der gegenwärtige Zustand überprüft wird, sondern es werden auch die Möglichkeiten für einen erhöhten Schutz in der Zukunft untersucht. Diese Möglichkeiten sind im Begriff der Vorsorge zusammengefasst: Vorsorge und Risikoanalyse ergänzen sich. Das ist deutlich bei der technischen Vorsorge, technische

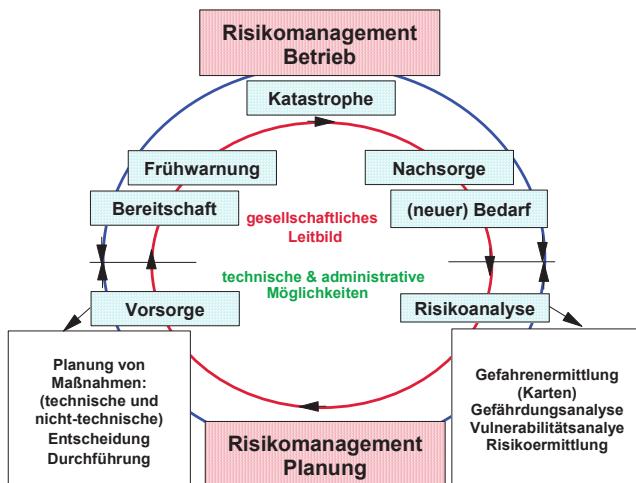


Abbildung 2
Der Kreislauf des Risikomanagements
Risk-management cycle

oder nicht-technische Maßnahmen betreffend, aber auch Veränderungen der planerischen Vorsorge durch Notfallplanung (die Vorhersagen, wie auch die Vorbereitung auf Katastrophenhilfe einschließt). Oder für den Hochwasserfall Ausweisung von Überschwemmungsflächen durch Flächenvorsorge, die nicht nur die Bereitstellung von Hochwasserschutzflächen und Berücksichtigung des Hochwasserschutzes in Bebauungsplänen umfasst, sondern auch die Bereitstellung von Flächen für Polder oder die notwendigen Flächen für die Rückverlegung von Deichen. Hierzu gehören auch Maßnahmen der Bodenbearbeitung, um z.B. in land- und forstwirtschaftlich genutzten Flächen den Rückhalt von Hochwasser zu verbessern. Insbesondere im Nachlauf des großen Elbe-Hochwassers im Jahre 2002 ist in Deutschland die systematische Behandlung des Risikos nach dieser Vorgehensweise vorangetrieben worden (s. hierzu z.B. Wasserwirtschaft, Heft 11, 2009, in dem an verschiedenen Beispielen die nach diesem Prinzip durchgeführte Umsetzung der Hochwasser-Risikomanagement Richtlinie der EU (EU 2007) beschrieben wird).

Dabei muss neben der Sicherheit von Schutzbauwerken für den lokalen Schutz auch die Sicherheit von Talsperren als Teil des Risikomanagement-Konzeptes einer Region eingebunden werden. Talsperrensicherheit hat in der deutschen Wasserwirtschaft immer eine wesentliche Rolle gespielt, und im Gegensatz zu anderen Ländern – z.B. den USA – sind die großen Talsperren in Deutschland mit sehr großen hydrologischen Sicherheitsreserven für den Hochwasserfall durch Ausweisung von Hochwasserschutzräumen, großzügig bemessenen Hochwasserentlastungsanlagen und Grundablässen gebaut worden. Nicht so eindeutig ist die Sicherheit zu beurteilen hinsichtlich der Standfestigkeit. Diese ist insbesondere für Talsperren in gegliederter Bauweise sehr in Frage gestellt worden, und viele solcher Talsperren mussten in den letzten Jahrzehnten saniert werden. Daher werden in vielen Ländern (z.B. in der Schweiz und den USA) für alle Talsperren Katastrophenpläne für den Fall des Versagens der Talsperre vorgeschrieben. Mindestens sollte festgestellt werden, wie groß die Versagenswahrscheinlichkeit aller Talsperren ist, wofür sich die Konzepte von PLATE (1982), MEON (MEON & PLATE 1989) oder POHL (1999) besser eignen als die Nachweise nach der neuen DIN 19700. Diese Ansätze berücksichtigen nicht nur die Belas-

tung des Talsperrenraumes durch extreme Hochwasser, sondern auch die Vorfüllung des Betriebsraumes der Talsperren als vom Hochwasser unabhängige Zufallsvariablen.

Darüber hinaus wird bei der Planung auch die indirekte Auswirkung von möglichen technischen oder nicht-technischen Alternativen untersucht. Das Ergebnis ist schließlich die Empfehlung eines ganzen Bündels von Maßnahmen und die Entscheidung für die gewählte Lösung. Hierbei kommen als Entscheidungsgrundlage durchaus auch die Kriterien nach den Abschnitten 6, 7 und 8 zur Geltung – nicht als allein maßgebend, sondern als Teil eines Abwägungsprozesses, bei der neben den Sicherheitsaspekten wirtschaftliche, städte- oder regionalplanerische Gesichtspunkte wie auch Aspekte des Umwelt-, Denkmal- und Naturschutzes zur Geltung kommen.

Der Betrieb setzt ein mit der Wartung und der langfristigen Vorbereitung auf ein kommendes Extremereignis. Kündigt sich dann über eine meteorologische Vorhersage ein extremes Niederschlagsereignis an, so muss über eine hydrologische Vorhersage eine Warnung erstellt und der Bevölkerung übermittelt werden. Die im Betrieb einsetzenden Maßnahmen vor und nach dem Extremereignis führen zum Entschluss, die bestehenden Maßnahmen zu verbessern oder neue zu schaffen. Dadurch entsteht die Planungsaufgabe, die von einer angemessenen hydrologischen Modellierung ausgeht.

Man kann nicht genug betonen, dass Wartung und Betrieb ein integraler Bestandteil des Risikomanagements sind und bereits bei der Planung als Teil einer ganzheitlichen Betrachtung und Bewertung berücksichtigt werden müssen. Die Notwendigkeit einer solchen Ganzheitsbetrachtung gilt insbesondere auch bei Projekten in Entwicklungsländern. Daraus entsteht die Forderung nach der Robustheit eines Projektes, das so konzipiert werden muss, dass es auch bei wenig Wartung funktioniert und bei dessen Versagen die Konsequenzen so klein wie möglich sind.

10 Weiterführende Untersuchungen

Der Exkurs zur Sicherheit von wasserwirtschaftlichen Anlagen, insbesondere bei der Planung von Hochwasserschutzmaßnahmen, hat deutlich gemacht, dass es hauptsächlich darauf ankommt, den Abstand zwischen der gewünschten subjektiven Sicherheit der betroffenen Menschen und der Wirklichkeit, die durch die wissenschaftlich bestimmbare Zuverlässigkeit geschätzt wird, so klein zu halten, dass sich die Menschen nicht nur sicher fühlen, sondern sich auch sicher fühlen dürfen. Das steht im Kern des Kreises des Risikomanagements nach Abbildung 2.

Dem entspricht die notwendige weiterführende Aufgabe, Schutzkonzepte zu entwickeln, die wirksam werden, wenn die bestehenden Maßnahmen oder Schutzsysteme versagen. Es ist dies die Behandlung des Risikos, das so bewältigt werden muss, dass kein Extremereignis zur Katastrophe führen kann. Das heißt aber, dass die Vulnerabilität der betroffenen Menschen in die Betrachtung einbezogen werden muss. Hierfür entstehen wissenschaftliche Fragestellungen, die zu einem vertieften Verständnis für die gesellschaftliche Wahrnehmung und Bewältigung von nicht vorhergesehenen Restrisiken (RENN 2008) als Handlungsgrundlage führen. Eine Verwaltung sollte auf Extremereignisse vorbereitet sein und Pläne entwickelt und eingeübt haben, die

für solche Fälle zum Einsatz kommen. Diese Aufgabe stellt sich besonders auch in Entwicklungsländern, in denen sehr viele Menschen dicht an den Flüssen oder an Meeresufern leben. Technische Lösungen sind hier häufig aus finanziellen oder technischen Gründen nicht möglich, und es ist daher ein wichtiges Ziel, die Menschen so rechtzeitig zu warnen, dass sie sich vor den zu erwartenden Fluten retten können. Daher gehört die Aufgabe der Entwicklung hochgenauer Vorhersagesysteme zu den wichtigsten der angewandten Hydrologie, die in Zusammenarbeit mit den Meteorologen zu bewältigen ist.

Aber Vorhersagen sind nur dann nützlich, wenn sie auch zu Warnungen und Aktionen der betroffenen Menschen führen. Dieser Teil, der weniger wissenschaftlich als administrativ umzusetzen ist, benötigt eine ganze Kette von Tätigkeiten. Wissenschaftliche Beiträge werden hierfür in Kooperation von Ingenieuren und Sozialwissenschaftlern zu erstellen sein, in denen es zunächst darum geht, diejenigen Gebiete und Menschengruppen zu ermitteln, die prioritär geschützt bzw. gewarnt werden müssen. Auch hier liegt ein wissenschaftlich-technisches Betätigungsfeld. Untersuchungen zur Quantifizierung und Bewertung der Vulnerabilität von Bevölkerungsgruppen sind ein wichtiges Anliegen, das z.B. ein zentrales Aufgabengebiet des Instituts für Umwelt und Sicherheit der Universität der Vereinten Nationen (UNU-EHS) ist. Die derzeit vorhandenen Ansätze zu dieser Fragestellung sind in BIRKMANN (2006) zusammengefasst.

11 Schlussbemerkung

Der Weg des Sicherheitskonzepts in der Wasserwirtschaft durch die verschiedenen Entwicklungsstufen hat gezeigt, dass nicht nur das Wissen und die Methoden von Wissenschaft und Technik im Laufe der Zeit zugenommen haben, sondern dass auch das Sicherheitsbedürfnis der Menschen sich geändert und zu neuen Forderungen an Wissenschaft und Technik geführt hat. Dies ist ein fortschreitender Prozess und wird durch den immer neu zu umschreitenden Kreis des Risikomanagements nach Abbildung 2 zum Ausdruck gebracht. In seiner Mitte steht das Wertesystem der Gesellschaft – aber auch das Arsenal an Methoden und technischen Möglichkeiten, die mit bestimmend dafür sind, was für ein Aufwand für die Vorsorge geleistet werden kann und soll.

Jede Generation wird ihr Sicherheitsbedürfnis neu definieren und es bleibt eine immer neue Forderung an Politik und Verwaltung, dieses Sicherheitsbedürfnis in Kriterien umzusetzen im Dialog mit Experten aller Fachrichtungen und im Rahmen der geltenden technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten. Dabei müssen für die naturwissenschaftliche Basis der Kriterien die natürlichen Gegebenheiten immer genauer erfasst werden. Ein optimales Pegel- und Niederschlagsmessnetz ist dafür eine Voraussetzung. Aufstellen und Umsetzen dieser Kriterien durch entsprechende Maßnahmen ist die gemeinsame Aufgabe von Wissenschaft, Ingenieurbüros (und gegebenenfalls Baufirmen) und der Verwaltung. So sollte es sein: die Wissenschaft ist gefordert, ihren Beitrag als Modellgeber zu leisten, Ingenieur- und Planungsbüros und Baufirmen planen und führen die technischen Maßnahmen aus, und die Verwaltung steht als kundiger und kritischer Mittler zwischen den technisch-wissenschaftlichen Handlungsgehilfen und den politischen Entscheidungsträgern.

Conclusions

The evolution of the concept of human safety in water-resources management over several stages has shown that not only the knowledge and the arsenal of methods of science and technology have grown in the course of time, but that there has also been a change in the need for safety of the people, what initiated new demands on science and technology. This is an ongoing process that is illustrated by the repetitive cycle of risk management shown in Figure 2. Its centre is occupied by the value system of society along with the arsenal of methods and technical possibilities that also determine which efforts can and should be invested into precautionary measures.

Every generation will define its need for safety anew, and the renewed demand will be addressed to politics and public administration to meet this need in a dialogue with experts of all disciplines and within the boundaries of available technical and economic possibilities. A scientific footing of the criteria requires increasing exactness in the analyses of the natural conditions. An optimized network of streamflow- and precipitation gauges is a prerequisite. The definition and implementation of such criteria is a joint task of scientists, consulting engineers (and occasionally construction enterprises), and public administrators. The desirable procedure: scientists produce and contribute models and simulation techniques, consulting engineers, planners, and construction enterprises plan and execute the technical projects, and the administrators act as a competent and critical mediator between the scientific-technical actors and the political decision-makers.

Anschrift des Verfassers:

Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. E. J. Plate
em. Professor, Hydrologie und Wasserwirtschaft
Universität Karlsruhe (TH)
Institut für Wasser und Gewässerentwicklung
Kaiserstr. 12, 76131 Karlsruhe
Plate@iwg.uka.de

Literaturverzeichnis

- BARTL, S., U. GRÜNEWALD & S. SCHÜMBERG (2008): Zur Rekonstruktion langjähriger Wasserstands- und Durchflusszeitreihen am Elbepegel Dresden. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 4, S. 162–167
- BAUMGARTNER, A. & E. REICHEL (1975): The world water balance. – Elsevier, Amsterdam
- BIRKMANN, J. (2006): Measuring vulnerability to natural hazards: towards disaster resilient societies. – United Nations University Press, Tokyo
- BUCK, W. (1975): Die Auswahl des Bemessungshochwassers als ein Entscheidungsproblem unter Risiko und Unsicherheit. – Mitteilungen Heft 165, Versuchsanstalt für Wasserbau und Kulturtechnik, Universität Karlsruhe

- BUCK, W. (2005): Festlegung eines angemessenen Hochwasserschutzgrades. – In: Kleeberg, H.B. & G. Meon, Hochwasser – Vorsorge und Schutzkonzepte. Heft 11.05 Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung. Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften im DWA, Hennef
- DOOGE, J.C.I. (1973): Linear Theory of Hydrological Systems. – Technical Bulletin No.1468, US Agricultural Research Service, Washington, 327 S.
- DOOGE, J.C.I. (1986): Scale problems in hydrology. – In: Buras, N. (ed.) (1997): Reflections on Hydrology. – American Geophysical Union, Washington, DC. S. 85–143
- DVWK (1979): Empfehlungen zur Berechnung der Hochwasserswahrscheinlichkeit. – DVWK Regel, Heft 101 (2. Aufl.), Verlag Paul Parey
- DVWK (1989): Wahl des Bemessungshochwassers – Entscheidungswege zur Festlegung des Schutz- und Sicherheitsgrads. – DVWK Merkblätter, Heft 209, Verlag Paul Parey
- DVWK (1990): Anleitung zur Anwendung von Niederschlags – Abfluss- Modellen in kleinen Einzugsgebieten. Teil 1: Analyse, Teil 2 Synthese. – Paul Parey Verlag, Berlin
- DYCK, S. (1980): Angewandte Hydrologie. Teil 1: Berechnung und Regelung des Durchflusses der Flüsse. 2. Aufl. – Verlag Bauwesen, Berlin
- DYCK, S. & G. PESCHKE (2005): Grundlagen der Hydrologie. – 3. Aufl. – Verlag für Bauwesen, Berlin
- EU (2000): European Union Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council. – <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:2000L0060:20011216:EN:PDF>
- EU (2007): European Union Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council. – <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:288:0027:0034:EN:PDF>
- FREEZE, R.A. (1987): Groundwater Contamination: Technical analysis and social decision making. – In: Buras, N. (ed.) (1997): Reflections on Hydrology. – American Geophysical Union, Washington, DC., S. 148–180
- GERSTENGARBE, F.-W. & P. WERNER (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Hess u. Brezowski 1881-1992. – Deutscher Wetterdienst, Bericht Nr. 113, Offenbach
- GUMBEL, E. (1958): Statistics of extremes. – Columbia University Press, New York, 875 S.
- KELLER, R. (1961): Gewässer und Wasserhaushalt des Festlands. – Verlag Teubner, Leipzig
- KELLER, R., U. DE HAAR, H.J. LIEBSCHER, W. RICHTER & H. SCHIRMER (1979): Hydrologischer Atlas der Bundesrepublik Deutschland. – Boldt Verlag, Boppard
- LAWA (2004): Landesarbeitsgemeinschaft Wasser im Auftrag der Umweltministerkonferenz: Instrumente und Handlungsempfehlungen zur Umsetzung der Leitlinien für einen zukunftsweisenden Hochwasserschutz, veröffentlicht durch das Nordrhein-Westfälische Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz, Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf
- LEIBUNDGUT, Ch. & F.J. KERN (2003): Die Wasserbilanz der Bundesrepublik Deutschland – Neue Ergebnisse aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland. – Petermanns Geographische Mitteilungen 147, S. 6–11
- LfUBW (1999): Hochwasserabfluss Wahrscheinlichkeiten in Baden-Württemberg. – Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. – Oberflächengewässer/Gewässerökologie 54
- LOUCKS, D.P. & E. VAN BEEK (2005): Water Resources Systems Planning and Management: An Introduction to Methods, Models, and Applications. – United Nations Educational, Scientific, and Cultural Organisation. – UNESCO Publications, Paris
- MANIAK, U. (2005): Hydrologie und Wasserwirtschaft. Eine Einführung für Ingenieure. 5. Aufl. – Springer, Berlin
- MEON, G. & E.J. PLATE (1989): Zuverlässigkeit einer Talsperre bei Hochwasser. – Wasserwirtschaft 79, S. 344–348
- MERZ, B. (2006): Hochwasserrisiken: Grenzen und Möglichkeiten der Risikoabschätzung. – Schweizerbart, Stuttgart, 334 S.
- MERZ, B. & M. GOCHT (2003): Karten für die Hochwasservorsorge und das Risikomanagement auf der lokalen Skala. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 47, S. 186–194
- PETROW, T., J.M. DELGADO & B. MERZ (2008): Trends der Hochwassergefährdung in Deutschland (1951 bis 2002) und Konsequenzen für die Bemessung. – Die Wasserwirtschaft 11, S. 24–28
- PETROW, T. & B. MERZ (2009): Trends in flood magnitude, frequency, and seasonality in Germany in the period 1951 – 2002. – Journal of Hydrology 371, S. 129–141
- PLATE, E.J. (1982): Bemessungshochwasser und hydrologisches Versagensrisiko für Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken. – Wasserwirtschaft 72, H. 3, S. 91–97
- PLATE, E.J. (1993): Statistik und angewandte Wahrscheinlichkeitslehre für Bauingenieure. – Verlag Ernst und Sohn, Berlin
- PLATE, E.J. (2009): Classification of hydrological models for flood management. – Hydrology and Earth Systems Sciences 13, S. 1–13
- PLATE, E.J. & J. IHRINGER (2002): Kapitel 1 und 2. In: Plate, E.J. (Semesterbetreuer): Hochwassermanagement Fernstudiumsunterlagen. – Bauhaus Universität Weimar: Weiterbildendes Studium Wasser- und Umwelt

- POHL, R. (1999): Estimation of the probability of hydraulic-hydrological failure of dams. – Proc. International Workshop on risk analysis in dam safety assessment. – Taipei, Taiwan, S. 143–157
- RENN, O. (2008): Risk governance: coping with uncertainty in a complex world. – Earthscan, UK
- ROTHER, K.-H. (2001): Hydrologische Grundlagen. – In: H. Patt: Hochwasserhandbuch. – Springer Verlag, Berlin
- SCHUMANN, A.H. (1993): Changes in hydrological time series – a challenge for water management in Germany. – In: Extreme hydrological events. – Proceedings of the 1993 Yokohama IAHS Symposium. – IAHS Publication No. 213, S. 95–102
- SINGH, V.J. & D.A. WOOLHISER (2000): Mathematical modeling of watershed hydrology. – J. Hydrological Engineering, ASCE, Bd. 7, S. 270–291
- SUDHAUS, D., K. BÜRGER, P. DOSTAL, F. IMBERY, J. SEIDEL, W. KONOLD, H. MAYER & R. GLASER (2008): Rekonstruktion historischer Hochwasserabflüsse anhand meteorologischer und hydrologischer Daten. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 52, H. 4, S. 198–202
- USIAC (1981): US Interagency Advisory Committee on Water Data: Guidelines for determining flood flow frequencies. – Bulletin 17B, Office of Water Data Coordination, US Geological Survey, Reston, Va., USA

Andreas Schumann

IWRM 2010 – Neue Anforderungen an die Hydrologie?

IWRM 2010 – New challenges for hydrology?

Der Ansatz einer integrierten (oder eher integrativen) Wasserbewirtschaftung, des Integrated Water Resources Management (IWRM), verfolgt eine koordinierte Bewirtschaftung des Wassers, der Landflächen und anderer Ressourcen mit dem Ziel der Maximierung des ökonomischen und sozialen Nutzens in einer gerechten Art und Weise ohne Beeinträchtigung der Nachhaltigkeit lebensnotwendiger Ökosysteme. Da die hydrologischen Verhältnisse das Ergebnis einer Interaktion von natürlichen Bedingungen und anthropogenen Einflussfaktoren sind, setzt dieser Ansatz voraus, dass möglichst alle Komponenten des hydrologischen Kreislaufes in unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen beachtet werden, um die Integrität des Wasserkreislaufs, die Wasserbeschaffenheit und die ökologischen Verhältnisse zu sichern. Die Hydrologie der Wasserressourcen muss damit nicht nur die natürlichen Verhältnisse erfassen, sondern auch Nutzungseinflüsse berücksichtigen und Fragestellungen, die sich aus Wechselwirkungen von Wassernutzungen und hydrologischen Bedingungen ergeben, beantworten. An zwei Beispielen, einer großräumigen Betrachtung der landwirtschaftlichen Bewässerung und des Stoffhaushaltes eines mesoskaligen Flussgebietes, wird das erweiterte Anforderungsprofil dargestellt. Mit den in der Zukunft zu erwartenden Veränderungen werden sich neue Anforderungen an das IWRM ergeben. Der hydrologische Wandel und seine begrenzten Vorhersagemöglichkeiten stellen einen Bereich des IWRM dar, der in Forschung und Praxis im Vergleich zu anderen Aspekten zu wenig Beachtung findet.

Schlagwörter: Bewässerung, hydrologischer Wandel, Klimaänderung, Wasserbewirtschaftung

Integrated Water Resources Management (IWRM) is defined as a process that promotes the co-coordinated management and enhancement of water-, land- and related resources in order to maximize the resultant economic and social benefits in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems. As the hydrologic conditions are the result of interactions between natural and anthropogenic conditions and influencing factors this approach presupposes the consideration of possibly all components of the hydrologic cycle on different temporal and spatial scales to preserve the integrity of the water cycle, of the quality of waters, and of ecologic conditions. Therein hydrology has to describe not only the natural conditions but must also consider influences of water uses and all problems arising from interactions of water uses and hydrologic realities. Two examples, a large-scale description of the interdependencies between hydrology and agricultural irrigation and the diffuse loads of nitrogen and phosphorous in a meso-scale river basin, demonstrate the extended profile of requirements facing hydrology. With the expected global changes new challenges for IWRM will arise. The hydrologic change and the limited possibilities to predict it is one field where IWRM does not receive enough attention in research and practice against other aspects.

Keywords: Climate change, hydrological change, irrigation, water management

1 Einleitung

Die Entwicklung der Hydrologie in den letzten 200 Jahren ist durch drei inhaltliche Bereiche gekennzeichnet, die sich konsequent herausbildeten, heute aber parallel und teilweise überschneidend existieren (JIAQI 1987). Zunächst war die Hydrologie ein Teil der Physischen Geografie. Hydrologische Untersuchungen waren im Wesentlichen auf die Verteilung der Wassermengen auf der Erde, die Erfassung des Wasserkreislaufes und den Vergleich der hydrologischen Verhältnisse in verschiedenen Regionen orientiert. Die zunehmenden, lokal konzentrierten Wassernutzungen, der Schutz der dicht besiedelten Talauen und eine durch den Druck einer stetigen Bevölkerungsentwicklung zunehmend intensivierte Landwirtschaft erforderten ingenieurtechnische Eingriffe in den Wasserhaushalt wie den Bau von Speichern und Wasserüberleitungen, die Melioration, den Gewässerausbau oder den Hochwasserschutz. Für diese wasserbaulichen Maßnahmen waren Bemessungsgrundlagen erforderlich, die durch die Ingenieurhydrologie bereitgestellt wurden. Seit der Mitte des vergangenen Jahrhunderts hat sich das Anforderungsprofil an die Hydrologie weiter verändert. Die Wasserressourcenbewirtschaftung rückte in den Mittelpunkt der wasserwirtschaftlichen Aktivitäten. Mit dem Begriff der „Ressource“

wird dabei der Bezug zur Nutzung hergestellt, bezeichnet doch eine Ressource im betriebswirtschaftlichen Sinne ein Produktionshilfsmittel.

Wasser wird in vielen Teilen der Erde zum limitierenden Faktor der sozio-ökonomischen Entwicklung. Mit dem Anwachsen der Weltbevölkerung, der Entwicklung der Bewässerungslandwirtschaft, der Bildung von Megastädten und der Industrialisierung in Entwicklungs- und Schwellenländern wachsen die Anforderungen an die Wasserressourcen. Die Wasserbewirtschaftung hat sich an veränderte Rahmenbedingungen angepasst, wie dies VIESSMAN & WELTY (1985), zitiert bei OKI et al. (2006), beschreiben:

- Zunächst bestand die Aufgabe der Wasserbewirtschaftung in der Erkundung der Ressourcen, um deren *Erschließung* für wirtschaftliche Zwecke zu ermöglichen. Das Hauptziel bestand in einer Wasserbereitstellung für Einzelnutzungen unter minimalen Kosten.
- Unter dem Druck konkurrierender Nutzer erfolgte die eigentliche Bewirtschaftung als *Optimierung* der Wassernutzungen unter Einbeziehung ökonomischer Kriterien.
- Die dritte Entwicklungsstufe der Wasserbewirtschaftung ist auf die Erfüllung von Nutzungsansprüchen bei gleichzeiti-

gem Schutz der Wasserressourcen orientiert, da der zunehmende Nutzungsdruck dazu führen kann, dass die Ressource unbrauchbar wird. Dies kann durch die Erschließung neuer Ressourcen oder die Erhaltung der Integrität des hydrologischen Kreislaufes, der die Erneuerbarkeit der Ressource sichert, erfolgen.

Die Aufgaben der Hydrologie haben sich dementsprechend erweitert. Statt einer punktuellen Aussage, die in der Ingenieurhydrologie meist nachgefragt ist, werden nun Planungsräume, in erster Linie Flussgebiete, betrachtet. Aus dem Ressourcenbegriff folgt, dass die hydrologischen Verhältnisse in Zusammenhang mit einem Anforderungsprofil zu bewerten sind. Es ist eine Besonderheit des Rohstoffs Wasser, dass dieser zwar für verschiedene Zwecke auch mehrfach genutzt werden kann, sich aber aus Nutzungen häufig eine Verminderung der Verfügbarkeit durch Wasserverbrauch oder Wasserverunreinigung ergibt. Die Hydrologie der Wasserressourcen muss deshalb nicht nur die natürlichen Verhältnisse erfassen, sondern auch Nutzungseinflüsse berücksichtigen und Fragestellungen, die sich aus Wechselwirkungen von Wassernutzungen und hydrologischen Bedingungen ergeben, beantworten. Problematisch ist dabei die kausale Differenzierung zwischen zeitgleichen Veränderungen natürlicher und anthropogener Einflussfaktoren, die für eine Ausweisung von Nutzungseinflüssen und deren Veränderung erforderlich ist (z.B. YANG & JIA 2006).

Ein Beispiel für die Komplexität der Wasserflüsse bei gemeinsamer Betrachtung der natürlichen hydrologischen Flüsse und der anthropogenen Eingriffe gibt Abbildung 1. Die Bilanz wurde im Rahmen des BMBF-Projektes „Nachhaltiges Wasserressourcenmanagement in der Küstenregion der Provinz Shandong, V.R. China“ in Zusammenarbeit von deutschen und chinesischen Partnern erstellt. Die hydrologischen Flüsse sind mit durchgezogenen, die anthropogen bedingten Flüsse dagegen durch strichlierte Pfeile dargestellt. Aufgeführt sind auch die Bereiche des „Green Water“ (Bodenfeuchte) und des „Blue Water“. Die Bewässerungslandwirtschaft nutzt „Blue Water“, um die Bodenfeuchte zu erhöhen. Die Bilanzierung setzt die parallele Abschätzung der Wassernutzungen (kursive Zahlenangaben) und der hydrologischen Prozesse (z.B. der Interaktion zwischen Grund- und Oberflächenwasser) voraus. Nur auf der Grundlage gemeinsamer Betrachtungen ist es möglich, Wassernutzungen in ihrer hydrologischen und letztlich sozio-ökonomischen Bedeutung zu beurteilen. Im Beispiel zeigt die Bilanz ein jährliches Wasserdefizit von 13 Mio m³, das durch Übernutzung des Grundwassers bedingt ist.

Das Leitbild wasserwirtschaftlicher Planungen, das insbesondere wasserwirtschaftlichen Projekten in Entwicklungsländern durch die Geberländer zugrunde gelegt wird, ist heute die integrative Wasserbewirtschaftung. Die Wasserbewirtschaftung wird dabei als Teil einer Gesamtstrategie zur regionalen und nationalen so-

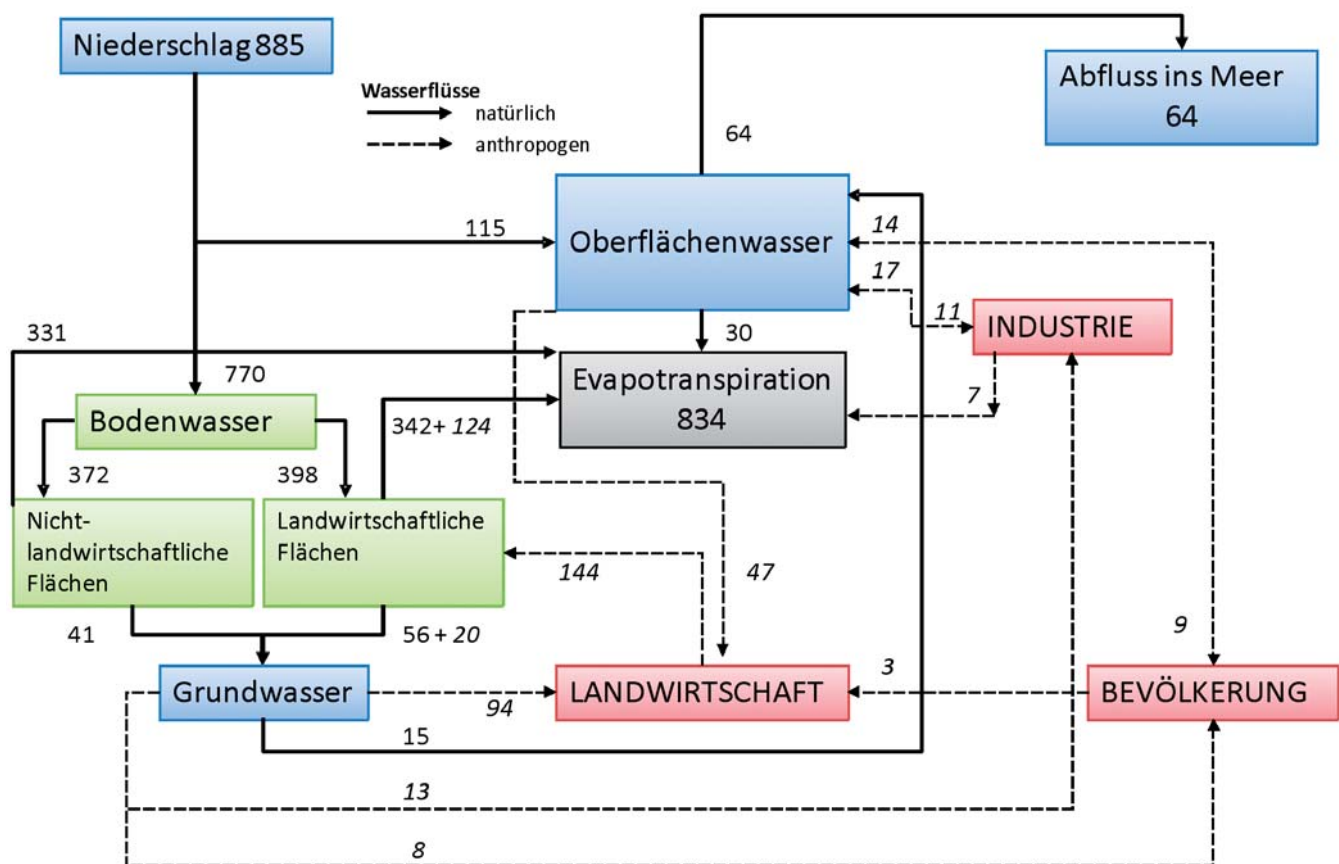


Abbildung 1

Beispiel einer Bilanz der natürlichen und anthropogen bedingten Wasserflüsse (Huangshui-Flussgebiet, Region Longkou, Provinz Shandong, China, Gebietsgröße 1475 km², Angaben der Wasserflüsse in Mio m³/a)

Example of a balance of natural and human induced water fluxes (Huangshui-River Basin, Region of Longkou, Province of Shandong, P.R. of China, area 1475 km², water fluxes are given in Mio m³/a)

zio-ökonomischen Entwicklung und zur Verbesserung bzw. Erhaltung der Umwelt verstanden. Im Grundsatz wurde das „Integrierte Wassermanagement“ bereits 1992 auf der Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro im Rahmen der Agenda 21 formuliert (UN 1992). Das Kapitel 18 der Agenda 21 befasst sich mit den Wasserressourcen. Unter der Überschrift „Integrated Water Resources Development and Management“ wurden sechs Programmbereiche vorgeschlagen, um die zukünftigen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse zu gestalten. Der Begriff „Integrated water resources management“ wurde wie folgt umrissen: „Integrated water resources management is based on the perception of water as an integral part of the ecosystem, a natural resource and a social and economic good, whose quantity and quality determine the nature of its utilization.“ Diese Beschreibung reichte allerdings zur Definition des IWRM-Ansatzes nicht aus. Weite Verbreitung fand eine 2002 durch die Global Water Partnership veröffentlichte Definition des Integrated Water Resources Management (IWRM): „IWRM is a process, which promotes the coordinated development and management of water, land and related resources in order to maximize the resultant economic and social welfare in an equitable manner without compromising the sustainability of vital ecosystems.“ (GWP-TAC 2000). Insbesondere durch die Aktivitäten der Global Water Partnership war der Schwerpunkt der wissenschaftlichen Aktivitäten zur Untersetzung des IWRM-Konzepts in den letzten Jahren stark auf die Probleme der Partizipation der verschiedenen Interessensgruppen in den Prozess der wasserwirtschaftlichen Planung orientiert. Dies war durch den ausgeprägten Nachholbedarf in diesem Bereich bestimmt. Sozio-ökonomische Untersuchungen sind heute ein Kernstück aller Aktivitäten im IWRM-Bereich. Es darf dabei jedoch nicht übersehen werden, dass die Kenntnis der Wasserhaushaltskomponenten und der Wasserbeschaffenheit in ihrer raum-zeitlichen Variabilität die wesentliche, unverzichtbare Grundlage für alle Bewirtschaftungsaktivitäten darstellt. In anthropogen beeinflussten hydrologischen Systemen setzt diese Kenntnis die Berücksichtigung der Wirkung von Eingriffen und der bestehenden oder möglichen Rückkopplungseffekte voraus, die trotz des integrativen Anspruchs des IWRM meist vernachlässigt werden. Betrachtet man Projekte und die aktuellen Ansätze einer integrativen Wasserbewirtschaftung, so fällt auf, dass Kenntnisse über die Wasserressourcen, d.h. deren Menge und Qualität, ihrer stochastischen Eigenschaften und damit der Sicherheit und der Risiken dieser Ressource in Abhängigkeit von natürlichen und anthropogenen Faktoren, weitgehend vorausgesetzt werden. Die Problematik unzureichender hydrologisch-wasserwirtschaftlicher Informationen tritt oftmals hinter den politischen, institutionellen, gesetzlichen, sozialen und ökonomischen Fragestellungen zurück. Ein Beispiel hierfür liefert das „Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins“, das durch die Global Water Partnership herausgegeben wurde (GWP 2009). Dieses Handbuch, das als praktische Richtlinie für die Wasserbewirtschaftung auf Flussgebiets-ebene empfohlen wird, stellt auf 104 Seiten Richtlinien für die integrative Wasserbewirtschaftung dar. In Kapitel 3 dieses Handbuchs wird der Rahmen der Wasserbewirtschaftung (Water Management Framework) dargestellt. Ein System aus drei Komponenten wird umrissen:

- gesellschaftliche Rahmenbedingungen wie Gesetze, Dialoge zwischen Wassernutzern, Budgets und Kooperationen in grenzüberschreitenden Flussgebieten
- die institutionellen Grundlagen für Planungen, Finanzierungen usw.

- die Bewirtschaftungsstrukturen, zu denen dann auch Einrichtungen zur Einschätzung der Wasserressourcen nach Verfügbarkeit und Bedarf gezählt werden.

Im Mittelpunkt der integrativen Betrachtungen stehen damit Organisationsstrukturen, Finanzierungen, partizipative Modelle zur Beteiligung aller Interessensvertreter (Stakeholder), soziale Fragen und ökologische Gesichtspunkte. Die Frage, welche natürlichen Gegebenheiten für die Wasserbewirtschaftung existieren und wie diese Gegebenheiten durch anthropogene Veränderungen in Gegenwart und Zukunft geprägt wurden bzw. werden, wird dagegen kaum thematisiert. Eine Vernachlässigung der hydrologischen Grundlagen entspricht jedoch nicht den tatsächlich bestehenden Kenntnisdefiziten, die nachfolgend auf der Grundlage einer Analyse des IWRM-Konzeptes in Bezug zu den hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Anforderungen verdeutlicht werden sollen.

2 Das IWRM-Konzept in Hinblick auf die Anforderungen an die Hydrologie

Nach SAVENIJE & VAN DER ZAAG (2000) erfordern vier Aspekte eine integrative Betrachtungsweise:

- die verschiedenen, zusammenhängenden Komponenten des Wasserkreislaufs und der Wasserbeschaffenheit in ihren unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen,
- die unterschiedlichen sektoriellen Ansprüche, d.h. die verschiedenen Interessen der unterschiedlichen Wassernutzer (einschließlich der Umweltanforderungen sowie sozialer und kultureller Anforderungen),
- die Nachhaltigkeit der Wasserbewirtschaftung und der Wassernutzungen im Sinne der Wahrung der Ansprüche zukünftiger Generationen,
- die verschiedenen Interessenslagen und deren Vertreter („Stakeholder“) in alle Ebenen des Entscheidungsprozesses.

Um diese Bereiche zu charakterisieren werden von SAVENIJE & VAN DER ZAAG (2000) vier Betrachtungsdimensionen benannt:

1. die Wasserhaushaltsdimension, die den gesamten hydrologischen Kreislauf inklusive der Wasserflüsse und -speicherungen, Wassergüte und Wassermenge umfasst, und in neuen, nutzungsorientierten Kategorien wie „Green Water“ und „Blue Water“ (FALKENMARK & LANNERSTAD 2005) geordnet werden kann,
2. die Wassernutzer, d.h. die Dimension der Menschen, ihrer ökonomischen Interessen und die Gruppierungen der Interessensvertreter, wobei der Begriff Nutzung nicht nur die ökonomische oder produktive Nutzung, sondern auch die Anforderungen beinhalten, die aus der Abhängigkeit von der Regulationsfunktion des Wassers im Naturhaushalt und aus den ökologischen und sozialen Funktionen (z.B. kulturelle und religiöse Bedeutung) des Wassers resultieren,
3. die räumliche Dimension der Wasserressourcen und der Wassernutzungen einschließlich der räumlichen Abhängigkeiten und Interaktionen sowie der verschiedenen Skalen, in denen Wasser bewirtschaftet wird (Einzelprojekt, Einzugsgebiet, nationale Flussgebiet, politische Territorien, internationale Flussgebiete), wobei die hydrologisch sinnvollen Grenzen oftmals nicht mit den politisch-administrativen Grenzen übereinstimmen, was immer wieder zu Versuchen führt, hydrologisch sinnvolle Strukturierungen aus institutionellen Ge-

sichtspunkten heraus in Frage zu stellen (z.B. VON KEITZ & KESSLER 2008),

4. die verschiedenen Zeitskalen, in denen die zeitliche Variabilität der Wasserverfügbarkeit und der Nutzungsanforderungen zu berücksichtigen ist und in denen Maßnahmen und Eingriffe zu deren Ausgleich betrachtet werden.

Zusammenfassend ergeben sich aus diesen vier Dimensionen folgende Anforderungen an die Hydrologie:

- Nutzungsorientierte Ausweisung der verfügbaren Wasserressourcen im jeweiligen Skalenbereich der Planung und Zwei-Wege-Kopplung der Abhängigkeit der Nutzungen von den hydrologischen Verhältnissen und der Änderung dieser Verhältnisse durch die Wassernutzungen
- Skalenübergreifende Betrachtung der Wasserressourcen und Wassernutzungen über die Projektebene hinaus bis hin zur Gesamtbetrachtung des Flussgebietes und, über die Projektlebensdauer hinaus, in die Zukunft zur Beurteilung der Nachhaltigkeit der Nutzung

Als Beispiele für problembezogene Anforderungen an hydrologische Informationen werden nachfolgend die Bewässerungslandwirtschaft und die Stoffhaushaltsbilanzierung in Flussgebieten betrachtet. Obwohl in unterschiedlichen Betrachtungsdimensionen angesiedelt, werden die Probleme, die sich aus hydrologischen Unsicherheiten für das Planungskonzept des IWRM ergeben und diesen Ansatz partiell in Frage stellen, deutlich.

Beispiel 1: Einfluss der Bewässerungslandwirtschaft auf die globalen hydrologischen Verhältnisse

Etwa 46 % der landwirtschaftlichen Produktion beruhen heute auf der Bewässerung von 28 % der weltweiten Ackerflächen (IWMI 2007). Am Beispiel der Bewässerungslandwirtschaft wird hier versucht, die Anforderungen an eine Hydrologie der Wasserressourcen unter Berücksichtigung globaler Veränderung des Wasserkreislaufes durch Wassernutzungen und der Wechselwirkungen zwischen der landwirtschaftlichen Wassernutzung und den natürlichen hydrologischen Verhältnissen darzustellen, um die Beziehungen zwischen den Wasserhaushalts- und Wassernutzungsdimensionen zu verdeutlichen.

Die Grundlage für die folgende Betrachtung stellen die Untersuchungen von WISSER (2010) an der University of New Hampshire, USA (Prof. Vörösmarty) dar. In Zusammenarbeit mit der Ruhr-Universität wurde der Versuch unternommen, die Bedeutung der Bewässerungslandwirtschaft und der Talsperrenbewirtschaftung in Hinblick auf großräumige regionale und globale Veränderungen des Wasserkreislaufes zu quantifizieren. Mit der Integration von entsprechenden Modulen zur Beschreibung dieser anthropogenen Einflussfaktoren in ein globales hydrologisches Modell (WBM, VÖRÖSMARTY 1991) erfolgten Abschätzungen, die die Problematik begrenzter hydrologischer Aussagefähigkeit im Bereich der Wasserressourcen im globalen Maßstab verdeutlichen. Die Ausgangssituation ist dadurch gekennzeichnet, dass etwa 70 % der Entnahmen aus Grund- und Oberflächenwasser durch die landwirtschaftliche Bewässerung bedingt sind (SHIKLOMANOV & RODDA 2003). Die Abhängigkeit zwischen dem natürlichen Wasserkreislauf und der Bewässerungslandwirtschaft ist offensichtlich: In erster Linie ist der Niederschlag die Grundlage der landwirtschaftlichen Aktivitäten. Von geschätzten 110.000 km³ Nie-

derschlag, die auf die Landfläche der Erde fallen, werden 40.000 km³ zu Oberflächenabfluss oder Grundwasserneubildung („Blue Water“) während etwa 70.000 km³ im Boden gespeichert werden und von dort hauptsächlich durch die Transpiration der Vegetation verdunstet („Green Water“). Es wird angenommen, dass etwa 13 % des „Green Water“ durch die Landwirtschaft genutzt werden und 87 % durch die natürliche Vegetation (WWDR 2006). Die Bewässerungslandwirtschaft entnimmt Wasser aus dem Bereich des „Blue Waters“ um zeitliche und räumliche Defizite im Bereich des „Green Waters“ auszugleichen. Im Ergebnis vermindert sich der Blue Water-Anteil, auf dem die industriellen und urbanen Wassernutzungen beruhen. 2006 schätzte die UNESCO die jährliche Entnahme der Landwirtschaft aus Oberflächengewässern und dem Grundwasser für Bewässerungszwecke auf 2.300 km³. Andere Arbeiten (DÖLL & SIEBERT 2002, VÖRÖSMARTY et al. 2005, SIEBERT & DÖLL 2007, HANASAKI et al. 2008) geben Werte zwischen 2.200 und 2.900 km³/a an. WISSER (2010) kommt bei Anwendung des erweiterten Modells WBM+ auf einen Gesamtwert der Entnahme von 3.135 km³/a und liegt damit deutlich höher als andere Autoren. Wie zuverlässig ist eine derartige Abschätzung? Eine wesentliche Quelle der Unsicherheit sind die Eingangsdaten. Mit dem Modell WBM+ wurden die Ergebnisse bei Anwendung zweier Globaler Klimadatensätze, dem CRU-Datensatz (MITCHELL & JONES 2005) und dem NCEP-Niederschlags- und Temperaturdatensatz (KALNAY et al. 1996) sowie zweier unterschiedlicher digitaler Karten der Bewässerungsflächen der Erde, der Global Map of Irrigated Areas, GMIA, (DÖLL & SIEBERT 2000) und dem Ergebnis des Global Irrigated Area Mapping Projects, GIAM (THENKABAIL et al. 2006), verglichen. Die unterschiedlichen Klimadaten bedingen bei gleicher Landnutzungskarte und gleichem Bilanzmodell etwa 40 % bis 45 % Unterschied in den Ergebnissen, wogegen die Verwendung unterschiedlicher Karten der bewässerten Flächen bei gleichen Klimadaten zu Abweichungen im Ergebnis von etwa 25 % führen.

Vergleicht man verschiedene Quellen, so fällt auf, dass die Angaben zur Wasserentnahme für Bewässerungszwecke aus dem Bereich Blue Water deutlich stärker variieren als der berechnete Netto-Wasserbedarf der bewässerten Pflanzen. Hier stimmen die Angabe der FAO-Statistik Aquastat von 1.100 km³/a mit den Werten der globalen Modelle WaterGap (DÖLL & SIEBERT 2002) (1.092 km³/a) und WBM+ von 1.118 km³/a (WISSER 2010) gut überein. Im Bereich der hydrologischen Modelle gibt es somit weitgehend Konsens. Der große Unterschied zwischen den Entnahmewerten ist wesentlich durch die Probleme der Quantifizierung der Bewässerungseffizienz begründet.

Bei einer großräumigen Betrachtung ergibt sich die Bewässerungseffizienz als Quotient aus der erforderlichen Wassermenge für die Bewässerung und der eingesetzten Wassermenge:

$$\text{Eff} = \frac{\text{ETr} + \text{L} - \text{Wg}}{\text{W}}$$

Mit Eff wird hier die Effizienz, mit ETr die reale Evapotranspiration der Pflanzen, mit L die erforderliche Wassermenge für das Leaching, das Auswaschen von Salzen, die über das Bewässerungswasser und den bewässerungsbedingten Kapillaraufstieg aus dem Grundwasser in die Bodenzone eingetragen werden, mit Wg die Niederschlagsmenge, die als Green Water für die Pflanzenverdunstung von Natur aus zur Verfügung steht und mit W die auf die Fläche aufgebrauchte Wassermenge bezeichnet.

Tabelle 1 Theoretische Wiederverwendung perkolierten Bewässerungswassers in gestaffelten Bewässerungssystemen <i>Theoretical re-use of percolated irrigation water in a sequence of irrigation systems</i>				
Bewässerungsfläche	Effizienz	Aufgebrachte Wassermenge Bewässerungsfläche	Erforderliche Bewässerungsmenge	Unproduktive Perkolation
1	0.5	1	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.25	0.25
3	0.5	0.25	0.125	0.125
4	0.5	0.125	0.0625	0.0625
		Genutzte Menge	0.9375	
		Effizienz	93.75	

Wenn die Effizienz niedrig ist, erfolgt ein höherer Wassereinsatz als dies für die Bewässerung erforderlich ist, es entsteht ein Wasserüberschuss, der als unproduktive Verdunstung in die Atmosphäre oder als zusätzliche Perkolation in das Grundwasser gelangt. Bei einer makroskaligen Betrachtung wird die Perkolation als Beitrag zur Grundwasserneubildung und damit als wieder verwendbar angesehen (wenn man vereinfachend von der chemischen Belastung absieht). Damit erhöht sich rechnerisch die Wasserverfügbarkeit und die Effizienz der Wassernutzungen durch Änderung der räumlichen Betrachtungsdimension von einem Einzelprojekt hin zu einem gestaffelten Bewässerungssystem wie folgendes Beispiel (Tab. 1) zeigt.

Bei dieser Betrachtungsweise werden bei 4 gestaffelten Flächen rechnerisch bereits bei einer lokalen Effizienz von 0,5 etwa 94 % des aufgebrachten Wassers genutzt, bei einer Effizienz von 0,3 sind dies 76 % und bei fünf gestaffelten Flächen und einer Effizienz von 0,5 über 99 %. Diese Rechnung hängt somit stark von der betrachteten Staffelung, d.h. von der räumlichen Auflösung und der Annahme der Wiederverwendungsmöglichkeiten, ab. Bei einer großräumigen Betrachtung muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass der Anteil des Green Water, der in der Bewässerung als Reduzierung des Bedarfes berücksichtigt wird, einen Anteil des Blue Water, die Grundwasserneubildung, reduziert. Die tatsächliche Wasserverfügbarkeit des Grundwassers ergibt sich somit nicht nur aus der Entnahmemenge, sondern aus den bodeninneren Flüssen und der Interaktion von Oberflächen- und Grundwasser. Das Beispiel verdeutlicht das Problem der Modellanwendung: Die Beschreibung der Interaktion inner-

halb des Systems (hier der Bewässerungslandwirtschaft und der hydrologischen Bedingungen) hängt von Basisannahmen zu den Wasserflüssen ab, die zu beschreiben sind. Häufig gelangt man vor dem Hintergrund unsicherer Daten zu plausiblen Simulationsergebnissen, es kann jedoch auch vorkommen, dass die gemessenen Abflussdaten nicht wiedergegeben werden, weil sich die Modellierungsannahmen von den tatsächlichen Gegebenheiten unterscheiden. Im Rahmen der Untersuchungen von Wisser wurde das 259.948 km² umfassende Flussgebiet des Krishna in Indien simuliert. Die Abweichungen zwischen den simulierten und den beobachteten Abflüssen sind in

Tabelle 2 dargestellt.

Ersichtlich wird eine relativ gute Übereinstimmung zwischen den simulierten, gestörten Abflussverhältnissen der letzten Jahrzehnte und den beobachteten Abflüssen. Es fällt jedoch auf, dass vor 1960 die Abweichungen der Simulation von den Beobachtungen größer als die ausgewiesenen Bewässerungsmengen sind. Ein Vergleich der Simulationsergebnisse mit den Beobachtungen für den Syr Darja und den Amu Darya, den Hauptzuflüssen zum Aral-See, zeigt eine deutliche Überschätzung der Zuflüsse trotz Berücksichtigung der Bewässerungsflächen. So berechnet das Modell WBM+112 km³a⁻¹ Zufluss als Durchschnitt des Zeitraumes 1982–2002, die Wasserbilanz des Aral-Sees weist aber nur 12 km³a⁻¹ aus. Als Ursache sieht Wisser die simulierte Nutzung fossilen Grundwassers, das in seiner Abflusswirksamkeit vermutlich überschätzt wird, aber auch unterschätzte Abflussverluste der Überleitungskanäle der Bewässerungssysteme.

Das Beispiel verdeutlicht die Probleme bei der Abschätzung der hydrologischen Veränderungen infolge der Bewässerungslandwirtschaft. Wenn im Rahmen des IWRM-Prozesses Maßnahmen zur landwirtschaftlichen Bewässerung beurteilt werden müssen, stellt sich die Frage nach dem Skalenbezug über die eigentliche Projektebene hinaus. Die dabei bestehenden Defizite in der integrativen Betrachtung von hydrologischen Verhältnissen und Wassernutzungen erschweren die Bewertung der Auswirkungen auf die hydrologischen Verhältnisse innerhalb eines Flussgebietes. Weitere, gravierende Unsicherheiten derartiger Planungen

Tabelle 2 Modellierte Komponenten des Wasserkreislaufs im Flussgebiet des Krishna für verschiedene Zeitabschnitte (P – Niederschlag, Q – Abfluss, differenziert nach natürlich, simuliert anthropogen beeinflusst, beobachtet, ET – Evapotranspiration, W – Wasserentnahme) Wasserflüsse in km ³ a ⁻¹ <i>WBMplus-modeled components of the hydrological cycle in the Krishna basin for different periods of time (P – precipitation, Q – discharge, differentiated between pristine- natur, disturbed- beeinflusst and observed - beobachtet, ET – evapotranspiration, W – withdrawal) Fluxes are in km³a⁻¹</i>									
	1910–1920	1921–1930	1931–1940	1941–1950	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2002
P	187	174	199	192	213	206	196	196	202
Q(natur)	36	24	37	38	48	42	39	34	37
Q(beeinflusst)	30	19	30	30	38	31	28	21	25
Q(beobachtet)	56	53	56	52	68	23	29	-	21
ET	161	157	172	166	178	180	178	187	195
W	13	15	16	18	20	25	33	40	47

stellen z.B. die ökonomischen Bewertungen dar. So entstehen je nach regionalen und politischen Gegebenheiten unterschiedliche Kosten für die Nutzung von Grund- und Oberflächenwasser. Andererseits erzielt die Bewässerungslandwirtschaft je nach der Anbaustruktur sehr unterschiedliche Erlöse. ALDAYA et al. (2010) diskutieren beispielsweise den Einsatz von Bewässerungswasser in Spanien und stellen fest, dass 4 % des landwirtschaftlich genutzten Blue Waters 66 % der Bruttowertschöpfung im landwirtschaftlichen Sektor erbringen und umgekehrt 60 % des Wassereinsatzes ganze 5 % Bruttowertschöpfung liefern. Diese Spanne verdeutlicht die Unsicherheit sozio-ökonomischer Planungen im Bewässerungssektor. Eine makroskalige Abschätzung der hydrologischen Effekte der Bewässerung gewinnt vor dem Hintergrund globaler Klimaveränderungen, großer wasserwirtschaftlicher Systeme mit grenzüberschreitender Wirkung und einer immer stärker globalisierten Weltwirtschaft an Bedeutung (OKI et al. 2006).

Beispiel 2: Analyse des Nährstoffhaushalts unter Berücksichtigung der Anforderungen zur Maßnahmenplanung nach Wasserrahmenrichtlinie (Werra)

Die am 22.12.2000 in Kraft getretene Wasserrahmenrichtlinie der EU ist stark vom IWRM-Ansatz geprägt. Neben der an sich bereits integrativen Zielstellung eines guten ökologischen Zustandes der Fließgewässer werden durch den geforderten kombinierten Ansatz von Immissions- und Emissionsbetrachtungen, durch die Forderung einer sozio-ökonomischen Bewertung von Maßnahmen (insbesondere in Hinblick auf mögliche Ausnahmeregelungen) oder durch die ausdrücklich genannte Öffentlichkeitsbeteiligung, eine Reihe von Rahmenbedingungen gesetzt, die dem IWRM-Konzept entsprechen. Die Anforderungen an die hydrologischen Aussagen sollen hier am Beispiel der Untersuchungen im Rahmen des BMBF-Projektes Flussgebietsmanagement für die Werra diskutiert werden (DIETRICH & SCHUMANN 2006).

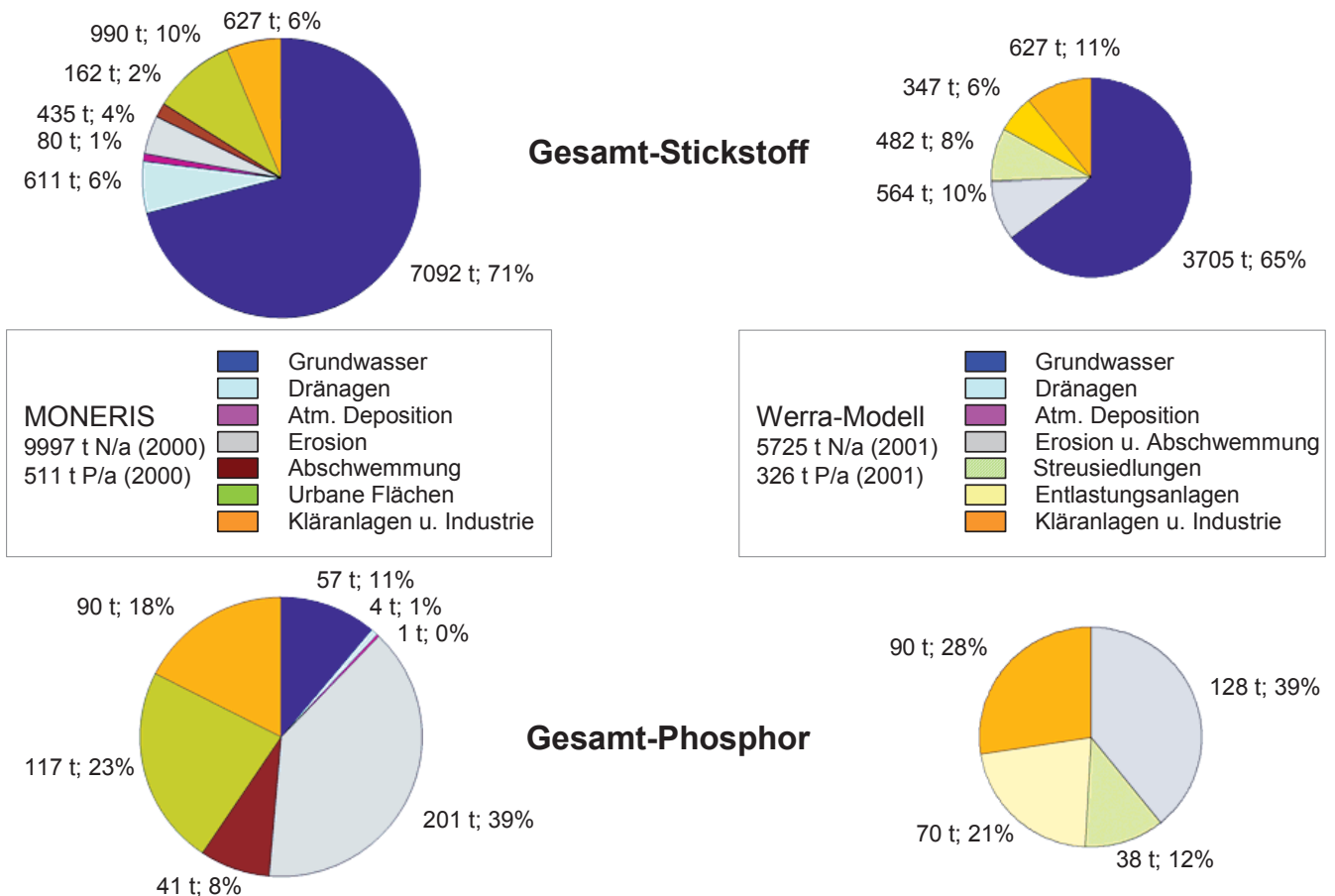
Das Flusseinzugsgebiet der Werra hat eine Gesamtfläche von 5.498 km². Es gehört zur Flussgebietseinheit der Weser, welche in die Nordsee mündet. Etwa 43 % der Gesamtfläche des Einzugsgebietes der Werra sind bewaldet, rund 52 % der Fläche wird landwirtschaftlich genutzt. Flächen für Siedlung, Gewerbe und Verkehr haben nur einen Anteil von unter 5 %. Im Rahmen der ökologischen Defizitanalyse wurden die Gewässergüteverhältnisse im Längsschnitt der Werra simuliert. Entsprechend den Gegebenheiten des Flussgebietes der Werra handelte es sich hierbei in erster Linie um Stickstoff- und Phosphoremissionen. Es wurden Maßnahmen zur verursacherbezogenen Reduzierung der Emissionen entwickelt und so kombiniert, dass die mit Hilfe von Modellen prognostizierte veränderte Belastungssituation die Anforderungen für den guten ökologischen Zustand erfüllen kann. Der Wasser- und Stoffhaushalt des Flussgebietes wurde mit dem physikalisch basierten Wasser- und Stoffhaushaltsmodell SWAT (Soil and Water Assessment Tool, NEITSCH et al. 2001) beschrieben. Es bietet die Möglichkeit, Stoffströme im Oberflächenabfluss, im Sediment, durch Erosion, im Sickerwasser, im Zwischenabfluss und im oberen Grundwasser zu berechnen und somit die wichtigsten Eintragspfade für die Stickstoff- und Phosphorkomponenten differenziert zu betrachten. Für die landwirtschaftlich genutzten Flächen wurden Managementszenarien bezüglich Düngung und Landnutzung entwickelt und deren Auswirkungen auf die unterschiedlichen Stoffströme berechnet. Mit Hilfe dieses Wasser- und Stoffhaus-

haltsmodells war es möglich, die Auswirkungen von verschiedenen Anbaustrukturen auf den diffusen Stoffaustrag von landwirtschaftlichen Flächen zu beurteilen. Die Frachten und Wassermengen, die aus Punktquellen in die Gewässer gelangen, wurden aus Angaben der gesetzlichen Eigenüberwachung (Kläranlagen) und unterschiedlichen Schätzverfahren für Streusiedlungen und Entlastungsanlagen der Kanalisation berechnet. Die Kalibrierung der eingesetzten Gewässergütemodelle (ATV Gütemodell und IWA RWQM No.1) erfolgte über eine Zeitreihe von fünf Jahren (1991–1995). Eine Darstellung der Modellentwicklung geben DIETRICH & FUNKE (2009). Vergleiche der mit den Modellen ermittelten Jahresfrachten für Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor mit den über die Konzentrations-Abfluss-Beziehung für den Pegel „Letzter Heller“ (2001) ermittelten Jahresfrachten ergaben Abweichungen von ca. 13 % für N_{ges} bzw. 30 % für P_{ges}. Im Gesamteinzugsgebiet der Werra stammen nach den Modellrechnungen ca. 25 % der Gesamtstickstofffrachten und ca. 61 % der Gesamtphosphorfrachten aus Punktquellen, die restlichen Frachten aus diffusen Quellen, wobei in der Werra-spezifischen Modellbildung die Streusiedlungen mit berücksichtigt werden. Aufbauend auf den Modellergebnissen für das Jahr 2001 wurde für ausgewählte Parameter und für jeden Wasserkörper eine Defizitanalyse durchgeführt. Hierzu wurden die ermittelten Werte (10-Perzentil, 90-Perzentil, Mittelwert, Maximalwert) mit ökologischen Zielwerten für das Erreichen des „guten Zustands“ verglichen. Untersuchungen zur Planung und Wirkungsprognose weiterführender Maßnahmen lassen erkennen, dass die Zielwerte in den meisten Wasserkörpern zukünftig erreicht werden können, wenn Maßnahmen zur Verminderung von Stoffeinträgen aus Punktquellen und diffusen Quellen kombiniert werden.

Um die Unsicherheit der Modellierungsergebnisse zumindest ansatzweise zu bewerten, erfolgte ein Vergleich der ermittelten Gesamtphosphor- und Gesamtstickstoffemissionen aus Punktquellen für das Jahr 2001 mit Ergebnissen des Modells MONERIS (BEHRENDT et al. 1999, Fortschreibung für das Bezugsjahr 2000), der nur relativ geringe Abweichungen ergab. Die Gesamtstickstoffjahresfracht aus den Punktquellen unterscheidet sich demnach um ca. 11 % zwischen beiden Bilanzen, für Gesamtphosphor beträgt der Unterschied ca. 4 % (höhere Werte jeweils bei MONERIS). Deutliche Unterschiede weisen aber die diffusen Stoffeinträge auf. So sind die mit MONERIS berechneten Einträge aus diffusen Quellen für Gesamtstickstoff und Gesamtphosphor jeweils etwa doppelt so hoch wie bei der Anwendung des SWAT-Modells (Abb. 2).

Diese Unsicherheit ist für die Maßnahmenplanung zur Verringerung des diffusen Stoffeintrages problematisch. Für die Werra wurden vier Strategien vergleichend bewertet:

- Zunächst Reduzierung der Nährstoffeinträge aus Punktquellen durch weiteren Ausbau von Kläranlagen und Anschluss von Streusiedlungen, für Bereiche, wo keine ausreichende Reduzierung der Einträge aus diffusen Quellen möglich ist,
- Zunächst Reduzierung der Nährstoffeinträge aus diffusen Quellen durch Änderung der Bewirtschaftung landwirtschaftlicher Flächen und Verbesserung der Nährstoffretention durch Uferrandstreifen, für Bereiche, wo keine ausreichende Reduzierung der Einträge aus Punktquellen möglich ist,

**Abbildung 2**

Vergleich der mit MONERIS berechneten Emissionen (BEHRENDT et al. 1999, Fortschreibung 2003) mit den im Werra-Projekt berechneten Emissionen (DIETRICH & SCHUMANN 2006)

Comparison of chemical loads of nitrogen and phosphorous and their sources for the Werra River Basin, based on two different models

- c) Ausgewogene Verteilung von Maßnahmen auf Verursacher gemäß deren Anteil an den Nährstoff-Emissionen,
- d) Verteilung von Maßnahmen nach Kostenaspekten ggf. ohne Berücksichtigung des Verursacherprinzips auf lokaler Ebene.

Da die Effekte aller Strategien mit dem Wasser- und Stoffhaushaltsmodell sowie dem Gewässergütemodell berechnet wurden, sind die Unsicherheiten der Modellierung insbesondere in den Strategien a) bis c) planungsrelevant. Die Maßnahmenplanungen erfordern die Berücksichtigung der subskaligen Prozesse des Nährstofftransports durch hydrologische Flüsse und gleichzeitig eine flussgebietsbezogene Abschätzung der Effekte. Die Unterschiede zwischen dem gewählten Modellansatz und dem Modell MONERIS zeigt die Problematik der Unsicherheit bei der Beurteilung der Wirksamkeit von Maßnahmen durch Modellrechnungen. Die Vorgaben der EU sehen die Anwendung des Verursacherprinzips vor. Damit müssten Maßnahmen ausgewogen auf die jeweiligen Verursacher von Belastungen verteilt werden, was wiederum voraussetzt, dass die Zuordnung der verschiedenen Quellen des Stoffeintrages zutreffend abgebildet wird. Unter Beachtung der Unterschiede der Modelle und der Datenlage, die insbesondere in Hinblick auf Informationen zur Düngungspraxis der Landwirtschaft schlecht ist, erscheint es fraglich, ob die für Planungsentscheidungen erforderlichen hydrologischen Aussagen mit dem vorhandenen

Modellinstrumentarium in der erforderlichen Belastbarkeit bereitgestellt werden können.

3 Globale Entwicklungen, die im IWRM-Konzept berücksichtigt werden sollten

Der dritte World Water Development Report (2009) nennt folgende Ursachen für veränderte Anforderungen an die Wasserressourcen:

a) demographische Entwicklung

Die demographische Entwicklung war im 20. Jahrhundert durch ein starkes Anwachsen der Weltbevölkerung geprägt. Während dieser Entwicklungstrend in Afrika südlich der Sahara und dem Mittleren Osten und Südasien anhält, stagniert die Entwicklung in anderen Teilen der Welt. Verringerte Bevölkerungszahlen werden für Europa und in Teilen Asiens erwartet. Neben der globalen Entwicklung wird die Dynamik der Bevölkerung steigen. Seit 2008 leben mehr Menschen in Städten als im ländlichen Raum, um das Jahr 2030 wird ein Anteil der Stadtbevölkerung um 60 % erwartet. Die Migration wird weiter an Bedeutung gewinnen, wozu demographische Veränderungen, ökonomische Disparitäten, die Liberalisierung des Welthandels, aber auch fortschreitende Umweltveränderungen beitragen. Auch Wasserstress bedingt Migration, kann aber auch durch Migration verursacht oder verstärkt werden.

b) die ökonomische Entwicklung

Die ökonomische Entwicklung ist durch die Globalisierung geprägt. Dies kann zur Erhöhung regionaler Wasserprobleme beitragen, wenn verschiedene Güter und Dienstleistungen verstärkt nachgefragt werden, andererseits kann durch den Welthandel der Fluss „virtuellen“ Wassers, z.B. des Wassers in Form von Produkten, zu deren Erzeugung Wasser benötigt wurde, dazu beitragen, bestehende Wasserdefizite auszugleichen. Wasser ist hauptsächlich ein lokales oder regionales Problem, da es nicht über größere Entfernungen (im globalen Maßstab) transportiert werden kann. Mit der Erweiterung des Welthandels können wasserintensive Produkte von wasserreichen zu wasserarmen Ländern transferiert werden, um so regionale Wasserdefizite zu verringern. Allerdings ist dieses Konzept in Hinblick auf die ökonomischen und sozialen Strukturen vieler Länder der Erde nicht ohne Weiteres praktikabel. Mit steigender Nachfrage nach Nahrungsmitteln und Energie ergeben sich strukturelle Veränderungen mit Bedeutung für die Wassernutzungen. Beispielsweise werden durch steigende Preise für Nahrungsmittel die Investitionen in die ländliche Infrastruktur, z.B. für Bewässerungssysteme, attraktiver, andererseits bedingen steigende Energiepreise Probleme für die Bewässerungslandwirtschaft.

c) die soziale Entwicklung

Die soziale Entwicklung wird starken Einfluss auf die Wasserressourcen nehmen. Ein hoher Anteil sehr armer Bevölkerungsgruppen reduziert die Möglichkeiten zum Schutz der Ressourcen und zu deren nachhaltiger Nutzung. So zeigt die historische Entwicklung, dass Umweltaspekte erst auf einem gewissen ökonomischen Niveau effektiv berücksichtigt werden können. Andererseits werden mit der Verbesserung des Lebensniveaus auch die Anforderungen an die Nutzung der Wasserressourcen steigen. Veränderungen des Lebensstils und insbesondere der Ernährungsgewohnheiten tragen wesentlich zur Erhöhung des landwirtschaftlichen Wasserbedarfs bei.

d) politische Entscheidungen und durch Gesetzgebung gesetzte Randbedingungen

Die politischen Bedingungen bestimmen die Zielsetzungen und Möglichkeiten der Wasserbewirtschaftung. In vielen Fällen bedingen politische Entscheidungen die Probleme, aber auch die Möglichkeiten zur Problemlösung im Wassersektor. Dies betrifft in besonderem Maße die Bewirtschaftung grenzüberschreitender Gewässer, die einerseits Konflikt- andererseits aber auch Kooperationspotential beinhaltet.

e) technologische Entwicklung

Die technologische Entwicklung kann sowohl den Wasserbedarf erhöhen als auch vermindern, andererseits aber auch selbst zur Verbesserung der Befriedigung dieses Bedarfs beitragen. Beispiele sind die Nutzung der nachwachsenden Rohstoffe zur Erzeugung der Bioenergie, die Gentechnik oder die Nanotechnologie, die für die Meerwasserentsalzung große Bedeutung besitzt. Neben der technologischen Entwicklung ist dabei deren globale Verteilung maßgebend, die von den Disparitäten der Forschungs- und Entwicklungskapazitäten bedingt wird. Nicht zu vernachlässigen sind unbeabsichtigte Konsequenzen der technologischen Entwicklung. Im Bereich der Landwirtschaft sind dies z.B. die Ergebnisse der „Grünen Revolution“, die in den siebziger und achtziger Jahren des 20. Jahrhunderts neben der wesentlichen Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion durch Bewässerung

und erhöhten Kunstdünger- und Pestizideinsatz auch zur Verschmutzung der Wasserressourcen und Wassermangel führten. Technologische Entwicklungen zählen heute zu den am wenigsten vorhersagbaren Einflussfaktoren, die zu schnellen, unerwarteten und unter Umständen dramatischen Veränderungen mit sowohl positiver als auch negativer Wirkung auf Wasserbedarf, Wasserverfügbarkeit und Wasserqualität führen können. Weitere zu beachtende Gesichtspunkte ergeben sich aus der Verknüpfung mit anderen Ressourcen wie z.B. der Energie. So erfordert die Nutzung immer tiefer liegender Grundwasserressourcen große Energiemengen. Wenn der Energiesektor unberücksichtigt bleibt, kann z.B. die Meerwasserentsalzung, die heute schon den Status von Pilotprojekten verlassen hat, eine Lösung für Wasserprobleme bieten. So produziert z.B. die Meerwasserentsalzungsanlage von Ashkelon in Israel durch Umkehrosmose 330.000 m³ Süßwasser pro Tag, dies entspricht 13 % des häuslichen Wasserbedarfs oder 5–6 % des Gesamtwasserbedarfs in Israel.

f) Klimaänderung

Veränderungen des hydrologischen Kreislaufs sind ein zu erwartendes Ergebnis einer Klimaänderung. Durch Veränderung der räumlichen- und zeitlichen Verteilung der Wasserressourcen, aber auch durch Einwirkungen auf Wasserbedarf und Wassernutzungen ergeben sich starke Veränderungen der Anforderungen und der Bedingungen an die Wasserbewirtschaftung. Zu beachten sind hier auch die Wirkungen von sektoriellen Anpassungs- und Mitigationsstrategien mit Einfluss auf die Wasserressourcen und die Einflüsse, die die Wasserbewirtschaftung und andere Aktivitäten über den Wasserkreislauf auf das Klima haben können. Die hier zu erwartenden Veränderungen sind derzeit nur sehr unsicher vorherzusagen. Eine aktuelle Wirkungsabschätzung der Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen geben KRAHE et al. (2009). Die Ergebnisse zeigen die Notwendigkeit von bias-Korrekturen für Kontrollrechnungen des heutigen Klimas, die das Änderungssignal der modellierten Klimaszenarien der Zukunft als sehr unsicher erscheinen lassen.

4 IWRM in Forschung und Praxis

Viele Forschungsprojekte im Bereich des IWRM thematisieren eine oder mehrere dieser Entwicklungen und versuchen Lösungsansätze für bestehende oder zu erwartende Probleme in der Folge dieser Veränderungen aufzuzeigen, die möglichst mehrere der o.g. Integrationsaspekte beinhalten. So fördert das BMBF in seinem Förderschwerpunkt IWRM die Entwicklung integrierter Planungsinstrumente für eine nachhaltige Nutzung und die Anpassung nachhaltiger Wassertechnologien an verschiedene klimatische, ökonomische und soziale Verhältnisse in derzeit 5 Projekten. Jedes dieser Projekte entwickelt Planungsgrundlagen, z.B. Entscheidungsunterstützungssysteme, um integrative Betrachtungen zu ermöglichen. Inwieweit diese Problembeschreibungen und Szenarien für Problemlösungen tatsächlich realisiert werden, hängt weitgehend von den politischen und institutionellen Bedingungen in der jeweiligen Region ab, die durch die Forschungsprojekte nicht oder nur in geringem Maße beeinflusst werden können.

Im Rahmen von Planungen nach dem IWRM-Ansatz muss der deskriptive Charakter von Problemanalysen durch kausal erklärende, auf Prozessverständnis beruhende Ansätze zu Ursache-Wirkungs-Relationen ergänzt werden. Dies gelingt in den einzelnen Teilbe-

reichen unterschiedlich gut, wobei die disziplinär unterschiedlichen Skaleneffekte problematisch sind. So wird z.B. die sozio-ökonomische Bewertung oder Prognose von Veränderungen durch die weltwirtschaftlichen Unsicherheiten, durch die regionalen politischen und institutionellen Rahmenbedingungen und die individuellen sozialen und kulturellen Gegebenheiten bestimmt.

Das IWRM-Konzept ist nicht unumstritten. So nennt BISWAS (2008) als wesentlichen Kritikpunkt das Problem, dass integrative Ansätze nicht unikal auf den Bereich der Wasserwirtschaft bezogen sind. Beispielsweise wäre eine integrative Landwirtschaft, integrative Energiewirtschaft oder ein integrativer Umweltschutz denkbar, der ähnliche Ansätze wie IWRM aufweist. In einer zunehmend komplexer werdenden Welt werden aber Problemfelder wie Wasser, Energie, Landwirtschaft und Umwelt immer stärker voneinander abhängig. Eine exklusiv und unabhängig integrative Bewirtschaftung einer Ressource ist nicht möglich, da Entwicklungen im Wassersektor andere Sektoren wie Energie oder Landwirtschaft beeinflussen und umgekehrt. Auch verhindern bestehende institutionelle Trennungen die integrative, d.h. abgestimmte Entwicklung mehrerer zusammenhängender Ressourcen. So ist in vielen Ländern z.B. die Wasserkraftgewinnung bei Ministerien für Energie, die Wasserwirtschaft dagegen bei Landwirtschafts- oder Umweltministerien angesiedelt. Die Integration vieler verschiedener Aspekte erscheint IWRM-Kritikern zur Lösung von Wasserproblemen der besonders bedürftigen Bevölkerung in Entwicklungsländern als nicht zwingend erforderlich und in ihren Erfolgsaussichten im aktuellen Kontext schneller sozialer Veränderungen und schwacher institutioneller Strukturen auch als eher unwahrscheinlich (MERREY et al. 2005).

Die Wasserpolitik Südafrikas ist ein Beispiel für den Versuch, das Leitbild des IWRM in die Praxis zu überführen. Der Schwerpunkt der Wasserbewirtschaftung ist auf die Wasserverteilung auf die Nutzergruppen Landwirtschaft, Industrie, Bevölkerung und stetige Nutzung, Erholung und ökologischer Tourismus orientiert (JONKER 2007). Der IWRM-Ansatz wird von JONKER (2007) auf die grundlegende Anforderung zurückgeführt, dass jeder Sektor seine wasserwirtschaftlichen Aktivitäten nicht mehr unabhängig von den anderen Nutzungen und den Umwelanforderungen gestaltet. Integration erfolgt hier in Hinblick auf das Ergebnis des Planungsprozesses und weniger im Bereich der eigentlichen Planung. Der südafrikanische Bewirtschaftungsansatz wird von Jonker in 3 Aufgabenkategorien zusammengefasst:

Die 1. Kategorie von Aufgaben betrifft die wasserwirtschaftliche Praxis, die 3 Anforderungen erfüllen soll:

1. Bei wasserwirtschaftlichen Aktivitäten ist die größtmögliche hydrologische Einheit zu berücksichtigen.
2. Die Wasserwirtschaft darf den hydrologischen Kreislauf nicht unterbrechen.
3. Die Wasserwirtschaft muss zur nachhaltigen Entwicklung beitragen.

In der 2. Kategorie werden die Zielstellungen wasserwirtschaftlicher Tätigkeiten wie folgt umrissen:

1. Wasserwirtschaft muss zur Bereitstellung von Wasser für die menschlichen Grundbedürfnisse, für die Erschließung der ökonomischen Möglichkeiten durch Wassernutzungen und für die Wasserbereitstellung zu spirituellen und kulturellen Zwecken dienen.

2. Wasserwirtschaft muss zur Gleichberechtigung innerhalb der Gesellschaft beitragen, indem insbesondere den Bedürfnissen von besonders gefährdeten Bevölkerungsgruppen Rechnung getragen wird.
3. Die Wasserwirtschaft muss die Nachhaltigkeit in den 3 Bereichen (ökologische, soziale und ökonomische Nachhaltigkeit) erreichen.

In der 3. Kategorie werden die Elemente einer integrativen Wasserbewirtschaftung wie folgt charakterisiert:

1. Schutz der Ressourcen
2. Angepasste Landnutzung
3. Effiziente Wassernutzung
4. Verantwortungsbewusste Verwaltung.

Dieser praxisorientierte Ansatz in Südafrika geht von einer Abstimmung der sektoriellen Entwicklung unter Beachtung des Systemcharakters der hydrologischen Verhältnisse und der anthropogenen Nutzungs- und Anforderungsprofile aus. Ähnliche Entwicklungen sind in anderen Ländern zu beobachten. Z.B. vollzieht sich in den Niederlanden ein Übergang von einer technokratisch orientierten Wasserbewirtschaftung zu einem systemaren Ansatz (VAN DER BRUGGE et al. 2005). Die EU hat Ansätze für derartige systemare Betrachtungen entwickelt, indem die EU-Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2000 ein Querschnittsthema, die Verbesserung der ökologischen Verhältnisse, aufgriff und die Analyse der Bestimmungsgrößen dieser Verhältnisse sowie die Planung einer zielgerichteten Veränderung vorschrieb. Die Problematik der nach wie vor sektoriellen Ausrichtung wird mit der Notwendigkeit einer 7 Jahre später herausgegebenen Hochwasserrichtlinie der EU deutlich. Die Problematik der Trennung gewässerökologischer Gesichtspunkte vom Hochwasserrisiko kann am Problem der Überschwemmungsgebiete verdeutlicht werden. Obwohl die EU-Wasserrahmenrichtlinie nach ihrem Artikel 1 einen Beitrag zur Minderung der Auswirkung von Überschwemmungen leisten soll, werden Überschwemmungen nur im Zusammenhang mit Ausnahmetatbeständen erwähnt. Die Morphologie wird zwar als Qualitätskomponente benannt, die Gewässerhydraulik jedoch nicht erwähnt. Nach §76 des neuen WHG sind bis 2013 Überschwemmungsgebiete festzusetzen. Quasi parallel werden nach der Wasserrahmenrichtlinie Maßnahmenprogramme zur Verbesserung der Gewässerstrukturgüte, die entsprechend der Bestandsaufnahme von 2004 ein erhebliches Defizit für die Umsetzung der Wasserrahmenrichtlinie in Deutschland darstellt (BMU 2004), umgesetzt, die Einfluss auf diese Überschwemmungsgebiete haben können. Insofern besteht hier ein deutlicher Bedarf für integrative Betrachtungen. Wenn der Aspekt der Klimaänderung und der Anfälligkeit der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse auf extreme Niedrigwasserbedingungen einbezogen würde, wären noch weitere Aspekte zu berücksichtigen, die in die heutige Flussgebietsbewirtschaftung zu integrieren sind.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Wasserbewirtschaftung unter dem Leitbild des IWRM setzt eine Betrachtung des hydrologischen Kreislaufes voraus, die wesentlich über die Projektskala der Ingenieurhydrologie hinausgeht und belastbare Aussagen zu hydrologischen Veränderungen auf der Ebene der Flussgebiete erfordert. Im Bereich der Forschung werden hierzu integrative Modellansätze entwickelt,

um diesen hydrologischen Wandel quantitativ zu beschreiben (BRONSTERT et al. 2009). Es wird jedoch deutlich, dass zwei grundlegende Defizite bestehen: Integrative Ansätze erfordern eine breite Datenbasis, die nicht nur hydro-meteorologische Grundlagendaten, sondern auch Nutzungsdaten beinhalten muss. Da diese Daten in der Regel nicht im wasserwirtschaftlichen Bereich, sondern in Sektoren, die bei der Umsetzung des IWRM-Konzeptes zusammenarbeiten müssen, erhoben werden, ist die Datenerhebung bereits ein Prüfstein für die praktische Umsetzbarkeit des IWRM-Ansatzes. Umgekehrt erfordert die integrative Bewirtschaftung eine Vielzahl von Aussagen zu möglichen hydrologischen Veränderungen in der Zukunft, die heute nur auf der Grundlage komplexer, in Hinblick auf die Unsicherheiten der Eingangsdaten und der Prozessbeschreibungen unsicherer, Modelle bereitgestellt werden können. Damit ist der hydrologische Wandel und seine begrenzten Vorhersagemöglichkeiten ein Bereich des IWRM, der im Vergleich zu anderen Aspekten zu wenig Beachtung findet. Hier sollte die Grundlagenforschung gestärkt werden, was unter Berücksichtigung der vorhandenen, oftmals komplexen Modellansätze, die in Hinblick auf ihre Validierung zum Teil erhebliche Fragen offen lassen, problematisch ist. Die Substitution von fehlenden Daten durch Simulationsrechnungen ist weder im Sinne der Nachhaltigkeit von wasserwirtschaftlichen Planungen noch der Entwicklung der hydrologischen Wissenschaft. Die Zusammenarbeit zwischen Hydrologie und Wasserbewirtschaftung kann in dieser Hinsicht nicht mehr auf die Dienstleistungsfunktion der Hydrologie beschränkt werden. Die Verbesserung und Fortschreibung der hydrologischen Grundlagen sollte unter Beachtung der Kontrollfunktion der Hydrologie bei der Umsetzung integrativer Projekte und deren Anpassung an veränderliche Rahmenbedingungen zu einem festen Bestandteil der integrierten Wasserbewirtschaftung werden.

Summary and conclusions

Water-resources management according to the IWRM principle presupposes a perception of the hydrologic cycle far beyond the project scale of engineering hydrology and depends on reliable information about hydrological changes at the river-basin level. Research is developing integrative modelling approaches to describe this hydrologic change in quantitative terms (BRONSTERT et al. 2009). However, it is obvious that there are two basic deficits: Integrative approaches need a broad database consisting not alone of hydro-meteorological basic data but also data on water uses. Because the latter have to be collected usually beyond the water-management sector, namely in those sectors that have to cooperate in the implementation of the IWRM concept, this data acquisition is a first touchstone for the practicability of the IWRM principle. The other way round, integrative water-resources management needs a wealth of information on possible forthcoming hydrological changes that can be provided today only on the basis of complex models that are uncertain regarding their input data and their descriptions of the governing processes. Thus, hydrologic change and the limited possibilities to predict it characterize IWRM as a field that receives too little attention against other aspects. Basic research in this field should be strengthened – a problematic effort in view of the available, often complex modelling approaches that still suffer from unsolved questions in validation. The substitution of missing data by simulation com-

putations is not acceptable, neither in the sense of sustainability of planning in water-resources management nor for the advancement of hydrological science. The cooperation between hydrologists and water managers cannot remain restricted to a service function of hydrologists. Progress and updating of basic hydrological science should become constituent elements of integrative water-resources management under due consideration of the controlling function of hydrology in the implementation of integrative projects and their adaptation to changing external conditions.

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr. A. Schumann
Ruhr-Universität Bochum
Fakultät für Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Lehrstuhl für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik
Universitätsstraße 150, 44801 Bochum
andreas.schumann@rub.de

Literaturverzeichnis:

- ALDAYA, M.M., A. GARRIDO, M.R. LLAMAS, C. VARELO-ORTEGA, P. NOVO & R.R. CASADO (2010): Water footprint and virtual water trade in Spain. – In: A. Garrido and M.R. Llamas (eds.), *Water policy in Spain*. – CRC Press, Leiden, The Netherlands, 49–59
- BEHRENDT, H., P. HUBER, M. LEY, D. OPITZ, O. SCHMOLL, G. SCHOLZ & R. UEBE (1999): Nährstoffbilanzierung der Flussgebiete Deutschlands. – UBA-Texte 75/99: 288
- BISWAS, A. (2008): Current directions: integrated water resources management – a second look. – *Water International*, Vol. 33, No. 3, 274–278
- BMU (2004): Die Wasserrahmenrichtlinie – Neues Fundament für den Gewässerschutz in Europa. – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
- BRONSTERT, A., D. KNEIS & H. BOGENA (2009): Interaktionen und Rückkopplungen beim hydrologischen Wandel: Relevanz und Möglichkeiten der Modellierung. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 53, H. 5, 289–304
- DIETRICH, J. & M. FUNKE (2009): Integrated catchment modelling within a strategic planning and decision making process: Werra case study. – *Physics and Chemistry of the Earth* 34, 580–588
- DIETRICH, J. & A. SCHUMANN (Hrsg.) (2006): Werkzeuge für das integrierte Flussgebietsmanagement – Ergebnisse der Fallstudie Werra. – *Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft*, Bd. 7. – Weißensee-Verlag, Berlin
- DÖLL, P. & S. SIEBERT (2000): A digital global map of irrigated areas. – *ICID Journal* 49(2), 55–66
- DÖLL, P. & S. SIEBERT (2002): Global modelling of irrigation water requirements. – *Water Resources Research* 38(4), 8,2-8,10, doi: 10.1029/2001WR000355

- FALKENMARK, M. & M. LANNERSTAD (2005): Consumptive water use to feed humanity – curing a blind spot. – *Hydrology and Earth System Sciences* 9, 15–28
- GWP (2009): Handbook for Integrated Water Resources Management in Basins, <http://www.inbo-news.org>
- GWP-TAC (2000): Integrated Water Resources Management. – Global Water Partnership, TAC Background paper No. 4
- HANASAKI, N., S. KANAE, T. OKI & N. SHIRAKAWA (2008): An integrated model for the assessment of global water resources. Part 2: Applications and assessments. – *Hydrology and Earth System Sciences* 12, 1007–1025
- IWMI (2007): Water for Food, Water for Life: A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture. – Earthscan, London and Colombo
- JIAQI, C. (1987): The new stage of development of hydrology. – *Water Resources Hydrology in "Water for the Future: Hydrology in Perspective"* (Proceedings of the Rome Symposium). – IAHS Publ. No. 164, 17–25
- JONKER, L. (2007): Integrated water resources management: The theory-praxis nexus, a South African perspective. – *Physics and Chemistry of the Earth* 32, 1257–1263
- KALNAY, E., M. KANAMITSU, R. KISTLER, W. COLLINS, D. DEAVEN, L. GANDIN, M. IREDELL et al. (1996): The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 77(3), 437–471
- KRAHE, P., E. NILSON, M. CARAMBIA, T. MAURER, L. TOMASSINI, K. BÜLOW, D. JACOK & H. MOSER (2009): Wirkungsabschätzung von Unsicherheiten der Klimamodellierung in Abflussprojektionen – Auswertung eines Multimodell-Ensembles im Rheingebiet. – *Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 53, H. 5, 316–331
- MERREY, D.J., P. DRECHSEL, F. PENNING DE VIES & H. SALLY (2005): Integrating 'Livelihoods' into integrated water resources management: Taking the integration paradigm to its logical next step for developing countries. – *Reg Environ Change* 5, 197–204
- MITCHELL, T.D. & P.D. JONES (2005): An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolution grids. – *International Journal of Climatology* 25(6), 693–712, doi: 10.1002/joc.1181
- NEITSCH, S.L., J.G. ARNOLD, J.R. KINIRY & J.R. WILLIAMS (2001): Soil and Water Assessment Tool. Theoretical Documentation, Version 2000. – Temple, Texas
- OKI, T., C. VALEO & K. HEAL (2006): Hydrology 2020: An Integrated Science to Meet World Water Challenges. – IAHS Publ. No. 300
- SAVENIJE, H.H.G. & P. VAN DER ZAAG (2000): Conceptual framework for the management of shared river basins with special reference to the SADC and EU. – *Water Policy* 2(1-2), 9–45
- SHIKLOMANOV, I. & J. RODDA (2003): World Water Resources at the Beginning of the Twenty-First Century. – UNESCO international hydrology press ed., Cambridge University Press
- SIEBERT, S. & P. DÖLL (2007): Irrigation water use – a global perspective. – In: *Global Change: enough water for all?*, 104–107, Universität Hamburg/GEO
- THENKABAIL, P.S., C.M. BIRADAR, H. TURRAL, P. NOOJIPADY, Y.J. LI, J. VITHANAGE, V. DHEERAVATH, M. VELPURI et al. (2006): An irrigated area map of the World (1999) derived from remote sensing. – Tech. rep., International Water Management Institute (IWMI)
- UN (1992): Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Rio de Janeiro, www.un.org/esa/dsd/agenda21/res_agenda21_18.shtml
- VAN DER BRUGGE, R., J. RETMANS & D. LOORBACH (2005): The transition in Dutch water management. – *Reg Environ Change* 5, 164–176
- VISSMAN, W. Jr. & C. WELTY (1985): Water Management. – Technology and Institutions, Harper & Row, New York USA
- VÖRÖSMARTY, C.J. (1991): Models of macro-scale hydrology for use in global change research: Tests on two tropical river systems. – Ph.D. thesis, University of New Hampshire
- VÖRÖSMARTY, C.J., C. LEVEQUE, C. REVENGA (Convening Lead Authors), C. CAUDILL, J. CHILTON, E.M. DOUGLAS, M. MEYBECK & D. PRAGER (2005): Fresh water ecosystems. – In: *Millennium Ecosystem Assessment Volume 1: Conditions and Trends Working Group Report*, chap. 7. – Island Press
- VON KEITZ, S. & P. KESSLER (2008): Grenzen des Flussgebietsmanagements. Folgt die Wasserwirtschaft dem falschen Ansatz? – *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 7, 354–360
- WISSER, D. (2010): The Role of Irrigation and Reservoirs in Regional and Global Water Cycles. – *Schriftenreihe Nr. 26 des Lehrstuhls für Hydrologie, Wasserwirtschaft und Umwelttechnik der Ruhr-Universität Bochum* (in Druck)
- WWDR (2006): Water a shared responsibility. – United Nations World Water Development Report 2. UNESCO, Paris
- WWDR (2009): Water in a Changing World. – United Nations World Water Development Report 3. UNESCO, Paris
- YANG, H. & S. JIA (2006): Where has the Yellow River water gone? – In: *Reducing the Vulnerability of Societies to Water Related Risks at the Basin Scale* (Proceedings of the 3. International Symposium on IWRM, Bochum, Germany, Sept. 2006). – IAHS Publ. No. 317, 31–37

Daniel Schwandt, Mathias Deutsch und Martin Keller

Die Anfänge systematischer chemisch-physikalischer Gewässeruntersuchungen in den Flussgebieten von Elbe und Rhein – historische Situation, Akteure, Entwicklungsstränge

The beginnings of systematic water-quality investigations in the catchments of the rivers Elbe and Rhine – historical situation, protagonists, developments

Die zunehmende Gewässerverunreinigung erwies sich im Einzugsgebiet von Elbe und Rhein an der Schwelle zum 20. Jahrhundert als gewaltige Herausforderung. Institutionen auf kommunaler, bundesstaatlicher und zentralstaatlicher Ebene wurden die dominanten Akteure bei der Anregung und Durchführung von Gewässeruntersuchungen. Ein Entwicklungsstrang von frühen Einzeluntersuchungen über fachübergreifende und überregionale Untersuchungskampagnen bis zur Etablierung von (Dauer-) Messnetzen kann mit Fallbeispielen belegt werden. Dabei werden Untersuchungen vorgestellt, die Meilensteine in der Ausdehnung der zeitlichen, räumlichen und fachlichen Breite der Gewässeruntersuchungen darstellen, wie z.B. die systematische Rheinuntersuchung 1904–1908 von Basel bis Koblenz, bei der Behörden mehrerer Bundesstaaten und des Reichs mustergültig zusammenarbeiteten. Die Kenntnis der Herangehensweise und der Ergebnisse historischer Gewässeruntersuchungen kann für aktuelle Untersuchungsprogramme vielfältige Anregungen und z.T. sogar Datengrundlagen bieten.

Schlagwörter: Elbe, Gewässergüte, historische Gewässeruntersuchungen, Rhein

The increasing pollution of waters in the catchments of the rivers Elbe and Rhine posed a tremendous challenge on the edge of the 20th century. Institutions of municipalities, states and the Reich became the dominant protagonists in proposing and performing water-quality investigations. The development from early individual investigations to multidisciplinary and supra-regional surveys and further to the establishment of (long-term) monitoring networks can be illustrated by examples. Milestones of the temporal, spatial, and thematic expansion of these investigations are presented, like the systematic investigation of the River Rhine between 1904 and 1908 from Basel to Koblenz, an example of cooperation of several federal states and agencies of the Reich. The knowledge of the approach and results from historical investigations of water quality can be beneficial for today's monitoring programmes in several aspects, even as a source of data.

Keywords: Elbe, historical investigations of waterbodies, Rhine, water quality

1 Einleitung

Um Gewässerverunreinigungen feststellen und quantifizieren zu können, werden Informationen zum natürlichen Zustand, Probenahmestrategie(n), Untersuchungsmethoden, -gerätschaften und Auswerteverfahren benötigt. Grundlegende Erkenntnisse zur Aussagekraft von chemischen Untersuchungen an Fließgewässern in Abhängigkeit von Jahreszeit und Wasserführung waren bereits Mitte des 19. Jahrhunderts bekannt (z.B. BISCHOF 1863).

Die Historie von Gewässerverunreinigung und Gewässerschutz an Rhein, Elbe und deren Nebenflüssen wurde in den letzten 15 Jahren mit verschiedenen regionalen und thematischen Schwerpunkten bearbeitet (z.B. GILHAUS 1995, TITTIZER & KREBS 1996, BÜSCHENFELD 1997, 2008, LANGE 2002, SCHULZ 2005, WINKELHÖFER et al. 2006). Die Entwicklung der Gewässeruntersuchungen stand dabei jedoch nicht im Fokus. In den folgenden Abschnitten werden schlaglichtartig Anfänge und Entwicklungstendenzen systematischer chemisch-physikalischer Gewässeruntersuchungen in den Einzugsgebieten von Elbe und Rhein an Fallbeispielen dargestellt. Zum besseren Verständnis erfolgt eine Einführung in die historische Situation sowie eine Vorstellung der bedeutenden institutionellen Akteure auf dem Gebiet der Gewässeruntersuchungen.

2 Historische Situation – Gewässerverunreinigung als Herausforderung

Die territoriale Neuordnung Europas durch den Wiener Kongress 1815 ergab für Preußen Gebietsgewinne im Einzugsgebiet des Rheins (Rheinprovinz, Provinz Westfalen) und der Elbe (Provinz Sachsen). Im Ergebnis des Deutsch-Österreichischen Krieges im Jahr 1866 erlangte Preußen weitere Gebiete an Rhein (Provinz Hessen-Nassau) und Elbe (Provinzen Hannover, Schleswig-Holstein). Preußen befand sich somit an Rhein und Elbe in der Position eines Unterliegers.

Das allgemeine Bevölkerungswachstum im 19. Jahrhundert ging einher mit einer starken Zunahme der städtischen Bevölkerung. Das Verhältnis ländlicher zu städtischer Bevölkerung (1871: 63,9 zu 36,1 %; 1900: 45,7 zu 54,3 %) verschob sich massiv, die Zahl der Großstädte (> 100.000 Einwohner) stieg im Deutschen Reich von 8 im Jahre 1871 auf 41 im Jahre 1905 (KAISERL. GESUNDHEITSAMT & KAISERL. STAT. AMT 1907).

Durch das Wachstum der Städte wurden hygienische Mängel bei der Wasserversorgung mittels Haus- oder öffentlicher Brunnen und bei der Fäkalienentsorgung deutlich. So berichtete Robert Koch von einem Brunnen in Altona, der durch oberflächlich eindringende Verschmutzung zum Ausgangspunkt einer lokalen

Choleraepidemie wurde (KOCH 1893). Ausschlaggebend für die Errichtung einer zentralen Wasserversorgung nach englischem Vorbild waren jedoch häufig andere Erwägungen, z.B. Brandschutz in Hamburg (Stadtwasserkunst Rothenburgsort, 1849 fertiggestellt) oder Wassermangel durch Wachstum eines Stadtteils in Bernburg (Wasserwerk 1873/74 errichtet). Im Jahre 1903 waren im Deutschen Reich in Orten mit mehr als 15.000 Einwohnern fast 96 % der Bevölkerung an eine zentrale Wasserversorgung angeschlossen, vorrangig gespeist durch Quell- oder Grundwasser 70,3 %, filtriertes Oberflächenwasser erhielten 25 %. Nur noch 4,2 % versorgten sich aus Brunnen und Zisternen (KAISERL. STAT. AMT 1906). Durch die zentrale Zuleitung erheblicher Wassermengen in die Städte ergab sich jedoch auch ein neues Entsorgungsproblem.

Das rasche Wachstum der Städte, die Einführung des WCs – dafür war die reichliche Verfügbarkeit von Spülwasser eine Vorbedingung – und die beginnende Nutzung von Mineralsalzdünger brachten das seit dem Mittelalter praktizierte System der Fäkalienentsorgung in Abortgruben, deren regelmäßige Leerung und Verwendung als Dünger aus der Balance. In Dresden konnte die mit der Leerung der Abortgruben beauftragte „Dünger-Export-Gesellschaft“ die anfallende Menge an Fäkalien nicht an die Landwirte abgeben und beantragte 1894 eine Erlaubnis, Fäkalien in die Elbe zu schütten, die für einen Ort unterhalb der Stadt zunächst für die Nachtstunden gewährt wurde. Dies führte zu Beschwerden und zog Untersuchungen und Gutachten nach sich (RENK 1903). Der Notstand bei der Fäkalienabfuhr veranlasste die Stadt Dresden, die bislang für die Ableitung von Regen- und Hausabwässern – ohne Fäkalien – errichteten Kanäle zu erweitern und auszubauen. Im ‚Gutachten des Reichs-Gesundheitsrathes über die Einleitung der Abwässer Dresdens in die Elbe‘ werden die Reinigung der Abwässer mittels Rieselfeldern empfohlen und Bedingungen für deren Einleitung in die Elbe gestellt: z.B. Entfernung von Teilchen mit mehr als 3 mm Durchmesser, Desinfektion der Abwässer von Kranken und Bereitstellung guten Trinkwassers für die Schiffer (GÄRTNER & RUBNER 1903). Die mechanische Kläranlage Dresden-Kaditz ging 1910 in Betrieb.

Große Hoffnungen richteten sich auf die Selbstreinigung der Flüsse, gestützt vor allem auf Untersuchungsergebnisse des Hygienikers Pettenkofer (z.B. PETTENKOFER 1891). Diese wurden von kommunaler Seite aus Eigeninteresse an kostengünstigen Kanalisationsprojekten gefördert und in politische Forderungen umgesetzt, wie z.B. einer Resolution des Deutschen Vereins für öffentliche Gesundheitsfürsorge: „Besondere Reinigungsanlagen für diese Abwässer vor der Ableitung in den Fluss sind nur dann zu fordern, wenn durch spezielle örtliche Untersuchungen ermittelt ist, dass die selbstreinigende Kraft des Flusses nicht ausreicht“ (PETTENKOFER 1892). Kritische Stimmen wie PAPPENHEIM (1859) waren offensichtlich verdrängt oder vergessen: „Es ist ein geradezu beklagenswerther chemischer Irrthum, wenn die Menschen einen so vollen Ton darauf legen, ihr Trinkwasser, wenn dies aus dem Flusse geschöpft wird, an dem sie liegen, oberhalb der Stadt, oberhalb ihrer industriellen Anlagen, oder ihrer Abtrittentleerungen zu schöpfen und dabei ignorieren, dass hundert Ortschaften, die oberhalb [...] liegen, hundert Tausende von Centnern Exkreme in denselben Fluß entleeren und ihnen zuschicken“.

Am Rhein, vom Bodensee bis zur Nahemündung, waren laut einer Erhebung des Kaiserlichen Gesundheitsamtes (OHLMÜLLER 1904) 13 Städte und eine Landgemeinde vollständig kanalisiert, von denen nur Wiesbaden und Frankfurt a.M. ihre Fäkalien über die Kanäle ableiteten und die Abwässer mechanisch und chemisch reinigten. 19 Städte waren teilweise kanalisiert, 11 Städte ohne Kanalisation leiteten Niederschlags- und Fabrikabwässer ein, ferner 145 außerhalb der Städte gelegene Fabriken und Gewerbebetriebe. Die Reinigung der Abwässer war zu diesem Zeitpunkt bei Kommunen nicht weit verbreitet und bei Fabriken eher unüblich.

Der Rhein schien einerseits zu groß, als dass er durch Abwässer merklich verunreinigt werden könnte: „Die chemische Zusammensetzung des Rheinwassers wird durch die in den Strom an zahlreichen Stellen eingeleiteten Abwässer nicht nachweisbar beeinflusst, weil die Wassermasse des Rheins zu gewaltig ist“ (STEUERNAGEL & GROSSE-BOHLE 1907). Gleichwohl wurde beim Gutachten über die Einleitung des Mainzer Kanalwassers der Vorsorgegrundsatz betont: „Es ist deshalb jetzt schon Fürsorge zu treffen, daß eine Verschmutzung des Rheinstroms nicht eintritt“ (OHLMÜLLER 1904). Andererseits charakterisierte LAUTERBORN 1905 die Wirkung der Abwassereinleitungen der BASF bei Ludwigshafen in den Rhein, „die als breiter Streifen von wechselnder Farbe sich mehrere Kilometer weit entlang des Ufers verfolgen lassen“, mit dem Fazit: „Im Bereich der Einläufe ist natürlich alles organisches Leben vernichtet“.

Mit der Entdeckung der synthetischen Farbstoffe Mauvein und Fuchsin Ende der 1850er Jahre entstand eine neue Industrie, die Teerfarbenindustrie, die insbesondere in Deutschland einen raschen Aufschwung zum Weltmarktführer erlebte. Die Abwässer der Farbenindustrie und der Färbereien wurden von KÖNIG (1887) bei der großen Masse der zur Verwendung kommenden Farbstoffe als sehr mannigfaltig charakterisiert, ihre schädlichen Wirkungen „beruhen einmal auf dem Gehalt von nicht ausgenutztem Farbstoff, dann auf dem von Metallverbindungen, besonders von Arsenverbindungen“. Neben der Farbenindustrie leiteten auch die Papier- und Zellstoffindustrie, Textilindustrie, Lederindustrie, Zuckerindustrie, Lebensmittelindustrie sowie die Metall- und Bergbauindustrie Abwässer ohne bzw. mit mangelhafter Reinigung in die Gewässer ein. Einen Überblick über die Abwässer der verschiedenen Industrien bieten z.B. KÖNIG (1887), JURISCH (1890) und FISCHER (1902). Die regionale Entwicklung (Rheinprovinz, Provinz Westfalen) insbesondere der Chemieindustrie stellen z.B. HENNEKING (1994), GILHAUS (1995) und ANDERSEN (1996) dar.

Ein spezielles Problem entstand aus der 1861 in Staßfurt (an der Bode) begonnenen fabrikmäßigen Verarbeitung bergmännisch geförderter Kali-Rohsalze. Die Kaliindustrie wuchs in den folgenden drei Jahrzehnten rasant, zunächst im Einzugsgebiet der Saale (Bode, Unstrut, Wipper), ab den 1890er Jahren dann auch im Einzugsgebiet der Weser (Aller, Werra, Leine). Die Menge der geförderten Rohsalze stieg sprunghaft: 2,4 Tsd. Tonnen 1861; 529,4 Tsd. Tonnen 1875; 3050,6 Tsd. Tonnen 1900 (KAISERL. STAT. AMT 1881, 1906). Die Abwässer (Endlaugen) der Chlorkaliumfabriken wurden in die Flüsse abgeleitet und führten teilweise zur massiven Erhöhung der Salzkonzentration und der Härte, zu deren Größenordnung und Auswirkungen eine Vielzahl von Gutachten entstanden (z.B. BECKURTS et al. 1912,

THUMM et al. 1921). Die Stadt Magdeburg, die ihr Trinkwasser ab 1859 komplett aus der Elbe entnahm, erkannte dies als Gefährdung ihrer Trinkwasserversorgung, erwirkte gutachterliche Äußerungen des Kaiserlichen Gesundheitsamtes (OHLMÜLLER 1890, 1893), klagte schließlich gegen die Verursacher und legte gegen neue Konzessionsanträge der Kaliwerke Widerspruch ein (BÜSCHENFELD 1997).

Rechtliche Bestimmungen zur Reinhaltung der Gewässer blieben in Preußen bis zur Verabschiedung des Wassergesetzes vom 7. April 1913 ein Randaspekt verschiedener Gesetze und Verfügungen (Allgemeines Landrecht von 1794, Kabinettsordre vom 24. Februar 1816, Privatflußgesetz von 1843, Gewerbeordnung von 1845, Fischereigesetz von 1874, Feld- und Forstpolizeigesetz von 1880). Besonders erwähnenswert sind die Ministerialerlasse vom 5. Juni und 1. September 1877, 8. September 1886 und 30. März 1896, die eine Einleitung von Spüljauche und Abtrittstoffen in Flüsse und Wasserläufe [via Kanalisation] im Allgemeinen für unzulässig erklärten und die zentrale Prüfung und ministerielle Genehmigung aller Kanalisationsentwürfe der Gemeinden vorsahen (PISTOR 1890, FISCHER 1902). Mit der ‚Allgemeinen Verfügung betreffend Fürsorge für die Reinhaltung der Gewässer‘ vom 20. Februar 1901 (zit. in FISCHER 1902 [S. 75–90]) erließen fünf preußische Ministerien eine Anleitung für die Provinzialbehörden, wie auf Grundlage der geltenden Gesetze der Verunreinigung der Gewässer mit Erfolg entgegengetreten werden könne. Zudem stellten sie Grundsätze für die Einleitung von Abwässern in Vorfluter auf und führten das Instrument der regelmäßigen Gewässerbegehungen ein, verschoben jedoch ein umfassendes Wassergesetz in die Zukunft.

3 Bedeutende institutionelle Akteure

Gewässeruntersuchungen zu Forschungszwecken, zur Zustandsbeschreibung und zur behördlichen Überwachung wurden in den Einzugsgebieten von Elbe und Rhein durch eine Vielzahl von Akteuren angeregt und durchgeführt. Auf zumeist kommunaler Ebene gab es ab den 1870er Jahren chemische bzw. Nahrungsmittel-Untersuchungsämter. Preußen besaß als zentrale Behörden die Königlich wissenschaftliche Deputation für das Medizinalwesen, die vorwiegend gutachterlich tätig war, und ab 1901 die Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung, die Begutachtung und Forschung vereinte. Die behördliche Überwachung von Teilregionen erfolgte ab 1909 durch Flusswasseruntersuchungsämter, die in enger Zusammenarbeit mit der Königlichen Versuchs- und Prüfungsanstalt agierten. Auf der Ebene des Zentralstaates hatte das Deutsche Reich ab 1876 mit dem Kaiserlichen Gesundheitsamt eine beratende und koordinierende Behörde geschaffen, die auch eigene Begutachtungen vor Ort durchführte. Das Kaiserliche Gesundheitsamt wurde ab 1900 vom Reichs-Gesundheitsrat unterstützt, der als Bindeglied zu den Behörden der Bundesstaaten diente. Ausschließlich regional tätig waren die Reinhaltungs-Wassergenossenschaften, wie z.B. die 1904 gegründete Emschergenossenschaft. Universitäten, insbesondere die noch jungen hygienischen Institute, waren ebenfalls in verschiedene Gewässeruntersuchungen eingebunden.

3.1 Kaiserliches Gesundheitsamt

Das Kaiserliche Gesundheitsamt wurde 1876 als unmittelbar dem Reichskanzleramt untergeordnete technische beratende

Behörde gegründet. Es sollte das Reich in der Ausübung der ihm zugewiesenen Aufsicht über die medizinal- und veterinärpolizeilichen Angelegenheiten unterstützen, von den entsprechenden Einrichtungen der Bundesstaaten Kenntnis nehmen und die vom Reiche ausgehende Gesetzgebung vorbereiten. Weiterhin sollte das Kaiserliche Gesundheitsamt die Wirkungen der im Interesse der öffentlichen Gesundheitspflege ergriffenen Maßnahmen beobachten, in geeigneten Fällen den Staats- und Gemeindebehörden Auskunft erteilen, die Entwicklung der Medizinalgesetzgebung in außerdeutschen Ländern verfolgen und die Herstellung einer genügenden medizinischen Statistik für Deutschland organisieren (WEBER 1926).

Zur Unterstützung der geringen Zahl ordentlicher (hauptamtlicher) Mitglieder wurden ab 1880 durch den Kaiser externe Sachverständige für den Zeitraum von drei Jahren zu außerordentlichen Mitarbeitern ernannt – eine Praxis, die bis zur Gründung des Reichs-Gesundheitsrates im Jahre 1900 beibehalten wurde. Die Einrichtung eines bakteriologischen Laboratoriums für Robert Koch, der von 1880 bis 1885 als ordentliches Mitglied des Kaiserlichen Gesundheitsamtes u.a. den Tuberkelbazillus als Erreger der Tuberkulose entdeckte, stärkte die experimentelle Forschung und brachte internationale Anerkennung. Auf Veranlassung von Regierungen der Bundesstaaten oder Städteverwaltungen war das Kaiserliche Gesundheitsamt mit der Abgabe von Gutachten zur Frage der Flussverunreinigung betraut, von denen eine Auswahl als „Sammlung von Gutachten über Flußverunreinigung“ ab 1889 in verschiedenen Bänden der Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte veröffentlicht wurde.

1918 erfolgte die Umbenennung in Reichsgesundheitsamt, nach dem Zweiten Weltkrieg die Neugründung als Bundesgesundheitsamt und schließlich im Jahre 1994 die Auflösung und Aufteilung in mehrere Bundesinstitute. Die Entwicklung und wissenschaftlichen Leistungen des Kaiserlichen Gesundheitsamtes werden z.B. in PISTOR (1890), WEBER (1926) und HÜNTELMANN (2008) dargestellt.

3.2 Städtische (chemische) Untersuchungsämter

Die Mehrzahl der städtischen Untersuchungsämter verdanken ihre Einrichtung dem am 14. Mai 1879 vom Reichstag verabschiedeten ‚Gesetz über den Verkehr mit Nahrungsmitteln, Genußmitteln und Gebrauchsgegenständen‘. Zu den untersuchten Nahrungsmitteln gehörte auch das Wasser (Trink- und häusliches Gebrauchswasser, Mineralwasser). 1911 gab es in Preußen 83 öffentliche Anstalten zur technischen Untersuchung von Nahrungs- und Genussmitteln (Dt. Reich insgesamt: 151 Anstalten), über deren Geschäftsbetrieb von 1902–1911 eine einheitliche, durch das Kaiserliche Gesundheitsamt bearbeitete Berichtserstattung erfolgte (KAISERL. GESUNDHEITSAMT 1905–1915). Untersuchungsämter nahmen auch Aufgaben der behördlichen Überwachung kommunaler Abwassereinleitungen wahr, wie z.B. das Städtische Untersuchungsamt Mannheim (CANTZLER & SPLITTGERBER 1916).

3.3 Königlich wissenschaftliche Deputation für das Medizinalwesen

Als Nachfolger des bereits 1685 in Berlin als zentrale preußische Medizinalbehörde eingerichteten Ober-Collegium medicum (ab 1799 Ober-Collegium medicum et sanitatis) wurde 1808 die ‚Wissenschaftliche Deputation für das Medizinalwesen‘ gegrün-

det. Als beratende wissenschaftliche Behörde hatte sie sich laut Geschäftsanweisung von 1888 zu allen vom Minister der Medizinal-Angelegenheiten vorgelegten Verhandlungen, Vorschlägen oder Fragen vom Standpunkt der medizinischen Wissenschaften zu äußern sowie gerichtsmedizinische Obergutachten zu erstatten, konnte jedoch auch aus eigenem Antrieb Anregungen zur Förderung der Zwecke der Medizinalverwaltung geben (GeStA HA Rep. 89 Nr. 24181). Sie bestand aus einem Direktor, ordentlichen Mitgliedern und außerordentlichen Mitgliedern (z.B. Vertretern der Ärztekammern). Von besonderer Bedeutung für den Gewässerschutz waren die zahlreichen Gutachten über die Kanalisation der Städte bzw. über Flussverunreinigungen (z.B. EULENBERG 1883).

3.4 Reichs-Gesundheitsrat

Der Reichs-Gesundheitsrat wurde auf Grundlage des ‚Gesetzes betreffs die Bekämpfung der gemeingefährlichen Krankheiten vom 30. Juni 1900 (Reichsseuchengesetz)‘ gebildet und sollte das Kaiserliche Gesundheitsamt bei der Aufgabenerfüllung unterstützen. Er fungierte als Bindeglied zu den Landesbehörden und konnte Vertreter zur Aufklärung der Verhältnisse vor Ort entsenden. In Fragen der Reinhaltung von Gewässern, die das Gebiet mehrerer Bundesstaaten berührten, erhielt der Reichs-Gesundheitsrat per Bundesratsbeschluss vom 25. April 1901 die Aufgabe, auf Antrag eines Bundesstaates zu vermitteln, gutachterliche Vorschläge bzw. bei Streitigkeiten einen Schiedsspruch abzugeben und aus Eigeninitiative Anregungen zur Verhinderung von Missständen bzw. zur Verbesserung der Zustände zu geben. Die Mitglieder des Reichs-Gesundheitsrates wurden vom Bundesrat auf fünf Jahre gewählt. Für das Gebiet der Abwasserreinigung und Flussreinhaltung bestand ein besonderer ‚Unter-

ausschuss für die Wasserversorgung und Beseitigung der Abfallstoffe, einschließlich der Reinhaltung von Gewässern‘, der im Laufe der Jahre eine Vielzahl von Gutachten erstellte (z.B. GÄRTNER & RUBNER 1903, OHLMÜLLER 1904, BECKURTS et al. 1912).

3.5 Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung

Die Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung nahm ihre Tätigkeit als Unterbehörde des preußischen Ministeriums der geistlichen, Unterrichts- und Medizinalangelegenheiten am 1. April 1901 in Berlin auf. Als „Centralstelle, an welcher alle auf dem Gebiete der Wasserversorgung und Beseitigung der flüssigen und festen Abfallstoffe wichtigen hygienischen und volkswirtschaftlichen Interessen Berücksichtigung finden und eine planmäßige, zielbewußte Förderung erfahren“, sollte sie „zugleich den Staatsbehörden, Kommunen, Industriellen und Privaten die Möglichkeit bieten, objective, sachkundige und dem jeweiligen Stande von Wissenschaft und Technik entsprechende gutachterliche Auskunft zu erlangen“ (SCHMIDTMANN & GÜNTHER 1902). Begutachtung und Beratung umfassten z.B. die Prüfung von rund 800 Wasserversorgungsentwürfen aus der Rheinprovinz (1903–1913), Wasseruntersuchungen für die Eisenbahnverwaltung, regelmäßige Kontrollen von Wasserwerken sowie Kläranlagen nebst deren Einfluss auf die Vorfluter, umfangreiche Gutachten zu Kaliabwässern und die praktische Prüfung von Abwasserreinigungsverfahren. Das Wissen der Anstalt wurde neben zahlreichen wissenschaftlichen Veröffentlichungen auch mittels Unterweisungskursen für Wasserbau-, Gewerbeaufsichts-, Meliorationsbau- und Medizinalbeamte, Stabsärzte und Brunnenbauer weitergege-

Tabelle 1

Übersicht über Flusswasser-Untersuchungsämter im Rhein- und Elbegebiet (nach LOHMANN 1934)

Overview of river inspection boards in the basins of Rhine and Elbe (according to LOHMANN 1934)

Name / Sitz (Bemerkung)	Dienstbezirk	Vorgesetzte Behörde / Vorstandsvorsitz	Wirtschaftliche Träger	Gründung	Überwachungsaufgaben
Rheingebiet					
Mainwasser-Untersuchungsamt Wiesbaden	Rhein und Main im Reg.- Bez. Wiesbaden (teilw. Kassel)	Preuß. Landesanstalt f. Wasser-, Boden- und Lufthygiene (WaBoLu)	ca. 50 Fabriken, Behörden und Kommunen	1909	Abwassereinleitungs- stellen / Zustand Rhein, Main und Neben- gewässer
Elbegebiet					
Abwasser-Untersuchungsstelle Sondershausen	Saalegebiet	Kaliabwässer- kommission	Kali- und Sodaindustrie	1913	Kali- und Sodaindustrie- abwässer sowie andere Verunreiniger
Flußwasser-Untersuchungsamt Magdeburg	Unterlauf Saale, Elbe im Reg.-Bez. Magdeburg, Erfurt u. Merseburg, Freistaat Anhalt	Regierungspräsident Magdeburg (fachtech- nische Aufsicht durch Preuß. Landesanstalt WaBoLu)	Zucker-, Papier-, Pap- pen- u. Zellstoffindustrie, Bergbau, Kali- u. chem. Industrie, Städte, Einzel- werke, Elbstrombauver- waltung	1925	Industrie- u. Städte- abwässer (insbes. Kali- industrie), allg. Gewäs- serüberwachung
Flußwasserüber- wachungsstelle Weimar	Land Thüringen, Elbegebiet	Thüring. Ministerium d. Inneren	Staat Thüringen (an Lan- desanstalt f. Gewässer- kunde angeschlossen)	1931	Allg. Überwachung Fluss- u. Bachläufe im Elbegebiet
Flußwasser-Untersuchungsamt Berlin- Dahlem (an Preuß. Landesanstalt WaBoLu angeschlossen)	Provinzen Brandenburg, Pommern, Mecklen- burger Freistaaten, Grenzmark Posen-West- preußen	Präsident Preuß. Landes- anstalt WaBoLu	Rohrzuckerfabriken (baltischer Zweigverein), Reg.-Präs. Potsdam für die Märkischen Wasser- straßen	1932	Städtische und industri- elle Kläranlagen (insbes. Rohrzuckerfabriken), allg. Gewässerüberwachung

ben. Im Laufe der Zeit erweiterte sich das Aufgabenprofil und die Anstalt wurde wiederholt umbenannt: Königliche Landesanstalt für Wasserhygiene (1913), Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene (1923), Reichsanstalt für Wasser- und Luftgüte (1942). Schließlich wurde die Anstalt in das Bundesgesundheitsamt (als Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene) und nach dessen Auflösung 1994 in das Umweltbundesamt (UBA) eingegliedert. Die Arbeiten der Anstalt wurden in besonderem Maße durch den Verein für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung finanziell und ideell gefördert, der sich 1902 aus preußischen Städten und Industrieverbänden gründete und bis heute aktiv ist (www.wabolu.de). Ausführliche Darstellungen der historischen Entwicklung und der wissenschaftlichen Leistungen finden sich u.a. in GÜNTHER (1913), BENINDE (1926), LEHMANN (1936) und BONGERT et al. (2001).

3.6 Flusswasser-Untersuchungsämter

In Flussgebieten, in denen die Reinhaltung der Wasserläufe besonders gefährdet erschien und nur durch planmäßige Regelung und Überwachung der Abwassereinleitungen gesichert werden konnte, wurden Flusswasser-Untersuchungsämter eingerichtet. Als staatliche technisch-wissenschaftliche Untersuchungs- und Forschungseinrichtungen gehörte zu ihren Aufgaben die Erforschung von Ursachen, Art und Umfang der Verunreinigung der Wasserläufe und die Beratung der Polizeibehörden und Interessenten bei Maßnahmen zur Reinhaltung (MEYEREN et al. 1934). Die Kosten der Untersuchungsämter wurden im Wesentlichen durch die Verursacher der Verunreinigungen getragen. Neben der chemisch-biologischen Kontrolle der eingeleiteten Abwässer erfolgte an Kontrollpunkten eine regelmäßige Entnahme von Wasserproben aus dem Gewässer, deren chemische Analyse im Labor und die Veröffentlichung von Untersuchungsergebnissen. Leiter des Amtes war ein Chemiker, der meist von zwei bis vier Assistenten bzw. Laboranten unterstützt wurde. Es bestand eine enge fachliche und z.T. organisatorische Anbindung an die Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene.

Pläne zur Fortentwicklung des Netzes von Flusswasser-Untersuchungsämtern mit der Perspektive einer ganzheitlichen Untersuchung von Flussgebieten sahen 1941 die Einrichtung von fünf weiteren Wasseruntersuchungsämtern in Danzig (Gdansk), Würzburg, Wien, Reichenberg (Liberec) und Düsseldorf vor, wurden jedoch nur eingeschränkt verwirklicht (BArch R 154 / 12288). Eine Ausweichstelle für Reichenberg wurde 1943 beim Wasserwirtschaftsamt Teplitz-Schönau (Teplice) eingerichtet und konnte im April 1944 den Betrieb aufnehmen (BArch R 154 / 12278).

3.7 Reinhaltungs-Wassergenossenschaften

Durch Sondergesetze wurden in industriell geprägten Ballungsräumen Reinhaltungs-Wassergenossenschaften als Zwangsgenossenschaften gegründet: z.B. Emschergenossenschaft (1904), Linksniederrheinische Entwässerungsgenossenschaft (1913), Ruhrverband (1913), Lippeverband (1926), Niersverband (1927), Elstergenossenschaft [Schwarze Elster] (1928), Wupperverband (1930), Muldegenossenschaft (1933), Weißelsterverband (1934). Diese Genossenschaften waren selbstverwaltet und erfüllten mit umfangreichen, vorrangig technischen Maßnahmen die Aufgabe der Gewässerreinhaltung im Genossenschaftsgebiet. Der gesetzliche Aufgabenumfang der Genossenschaften umfasste bei der Emschergenossenschaft die Abwasserreini-

gung und Vorflutregelung, beim Ruhrverband ausschließlich die Reinhaltung und wurde bei den späteren Gründungen immer umfangreicher, so dass die Genossenschaften die gesamte Wasserwirtschaft ihres Gebietes nach einheitlichen und umfassenden Gesichtspunkten verwalten und gestalten konnten (MEYEREN et al. 1934).

4 Gewässeruntersuchungen in den Flussgebieten von Elbe und Rhein

Aus der Fülle an Gewässeruntersuchungen, die im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert an Elbe und Rhein durchgeführt wurden, kann in diesem Beitrag nur eine kleine Auswahl Erwähnung finden. Einerseits werden für ihre jeweilige Zeit typische Untersuchungen ausgewählt und deren innovative Ansätze unterstrichen. Andererseits werden Untersuchungen vorgestellt, die Meilensteine in der Ausdehnung der zeitlichen, räumlichen und fachlichen Breite der Gewässeruntersuchungen darstellen. Am Rande erwähnt sei auch die rasante Entwicklung der Gerätschaften und Methoden für die Beprobung der Gewässer (z.B. SALOMON 1901, KLUT 1911). Abgesehen von den frühen Einzeluntersuchungen gaben die institutionellen Akteure wichtige Impulse bei der Etablierung neuer Formen von Gewässeruntersuchungen, so wurden z.B. fachübergreifende Untersuchungen zu einem Markenzeichen der Königlichen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung und fanden von dort weite Verbreitung.

4.1 Frühe Einzeluntersuchungen / Untersuchungsreihen (bis 1899)

4.1.1 Rheinwasseruntersuchung bei Köln

Anlass der Untersuchungen des Apothekers Vohl in den Jahren 1870 und 1871 war der Vorschlag der Verwendung von Rheinwasser zur Speisung der Kölner Wasserwerke. „Für manche Zwecke ist es demnach von der grössten Wichtigkeit, die Menge und die Qualität der im Flusswasser enthaltenen fremden Bestandtheile zu kennen, und besonders ist dies der Fall, wenn das Wasser als Trinkwasser oder zur Bereitung von Speisen und Nahrungsmittel benutzt werden soll. [...] Um in dieser Hinsicht ein richtiges Urtheil fällen zu können, reicht eine einzige Untersuchung nicht aus. Es müssen vielmehr mehrere Analysen ausgeführt werden, und zwar muss das dazu benötigte Wasser bei verschiedenen Pegelständen und an verschiedenen Stellen geschöpft werden“ (VOHL 1871). Ältere Rheinwasseranalysen von Einzelstichproben aus den Jahren 1848, 1853 und 1855 werden aufgeführt, eine Analyse ohne Zeit und Ortsangabe kritisiert und eigene Analysen vorgestellt. Ort, Zeit und Pegelstand werden für die bei niedrigem oder hohem Pegelstand jeweils an drei Stellen entnommenen (oberhalb, in der Mitte und unterhalb der Stadt) Schöpfproben angegeben (10 Liter) und die Probenbehandlung erwähnt (Filtrierung durch abgewogene, bei 100 °C getrocknete Filter). Neben Glühverlust und Trockenrückstand werden 12 Elemente bzw. Verbindungen analysiert und deren Gehalt im Wasser angegeben. Über den in Fließrichtung des Rheins steigenden Chlorid- und Natriumgehalt zeitgleicher Proben wird abgeleitet, dass „Urin, welcher dem Rheine aus den Abtritten und Strassenrinnen, resp. Canälen zufließt“ dafür die Ursache sei. Vohl verwirft eine Nutzung des Rheinwassers als Genusswasser, „weil mit dem Fortschritt der Cultur und der Gewerbe die unreinen Zuflüsse zu dem Strome sich vermehrt haben und eine Entfernung die-

ser Verunreinigungen durch eine künstliche Filtration niemals in der Weise zu ermöglichen ist, dass man ein constant zusammengesetztes Wasser erhält“ (VOHL 1871).

4.1.2 Reinigung und Entwässerung Berlins

Um Grundlagen für eine Entscheidung über ein Projekt zur Kanalisation Berlins zu erhalten, setzte die Stadtverordnetenversammlung 1867 eine gemischte Deputation ein, die die Notwendigkeit erkannte, neben „geometrischen und bautechnischen Ermittlungen auch geologische, chemische und statistische Untersuchungen über Boden-, Wasser- und Sterblichkeitsverhältnisse der einzelnen Stadtteile zu veranlassen“ (VIRCHOW 1873). Ein daraufhin erstellter Untersuchungsplan wurde 1869 von der Stadtverordnetenversammlung genehmigt und 13 Spezialberichte veröffentlicht. Ein Bericht enthält u.a. eine Zustandsbeschreibung des Spreewassers aufgrund chemischer Analysen (u.a. Härte, Chlor, Schwefelsäure, Ammoniak) von einzelnen Stichproben und fließzeitversetzten Stichproben an 7 Probenahmestellen in und unterhalb Berlins in den Jahren 1870, 1871 und 1872. Insgesamt nahm die Verunreinigung des Spreewassers innerhalb der Stadt zu. Für das Jahr 1872 wurde eine bedeutende Zunahme der Verunreinigung bei sommerlichem Niedrigwasser festgestellt (MÜLLER 1874).

4.1.3 Zusammensetzung des Wassers des Rheins und Mains bei Mainz

Der Leiter des chemischen Untersuchungsamtes für die Provinz Rheinhessen in Mainz, E. Egger, entnahm 1884 monatlich Wasserproben an zwei Stellen am Rhein (oberhalb und unterhalb der Mainmündung) und am linken Mainufer oberhalb von Kostheim. Für alle Proben wurde der Trockenrückstand und der Gehalt an Kalk, Magnesia, Schwefelsäure und Chlor im Wasser und im Trockenrückstand bestimmt. Das relative Verhältnis der Bestandteile im Trockenrückstand wurde beim Rhein unabhängig von der Wasserführung als nahezu konstant angegeben. Beim Main wurden Schwankungen der Zusammensetzung auf Wechselwirkungen zwischen Flusswasser und Ackerböden bei Ausuferungen zurückgeführt. Bei einer erneuten, weitaus umfangreicheren Untersuchung des Rheins 1906/07 erhöhte Egger die Frequenz der Probenahme und entnahm ein Jahr lang wöchentlich Proben von der Eisenbahnbrücke oberhalb der Mainmündung (s. Abb. 2) (EGGER 1908/09).

4.2 Fachübergreifende und koordinierte überregionale Gewässeruntersuchungen (ab ca. 1900)

4.2.1 Untersuchungen an Bäke, Nuthe, Panke und Schwärze

Um „das gesammte Thier- und Pflanzenleben eines Flusses in seiner Abhängigkeit von der Beschaffenheit zugeleiteter Schmutzwässer zu erforschen, wenn möglich sozusagen Leitthiere und Leitpflanzen als charakteristisch für bestimmte Abwässerungsverunreinigungen festzulegen und diese Befunde neben den bakteriologischen und chemischen Ermittlungen zur gutachterlichen Entscheidung zu verwerten“ (SCHMIDTMANN 1900), wurden kleinere Wasserläufe in Berlin bzw. dem Berliner Umland monatlich von März 1899 bis April 1900 untersucht. Der Arbeitsplan enthielt Grundsätze für eine einheitliche Probenahme, um die Resultate vergleichen zu können (SCHMIDTMANN 1900):

- Begehung des Wasserlaufes zur Festlegung geeigneter Punkte für die Probenahme (Eintragung in Karte)

- gleichzeitige Probenahme für die Untersuchung von Fauna, Flora, chemischer und bakteriologischer Beschaffenheit durch den begutachtenden Sachverständigen in eigener Person
- Begutachtung an Ort und Stelle, ansonsten an lebenden Organismen innerhalb von 12 h (Dokumentation der Zeitdauer seit Entnahme)
- Probenahme flaschenvoll, geschlossene und kühle Aufbewahrung
- Feststellung der örtlichen Verhältnisse an der jeweiligen Probenahmestelle (Geologie, Landnutzung, Ufergestaltung, Flusssohle, Breite und Tiefe)
- Feststellung der Wasserverhältnisse (Wasserstand, Strömungsgeschwindigkeit, Durchlüftung, Durchsichtigkeit und physikal. Parameter, Geruch, Temperatur)
- Feststellung der Zeit und meteorologischen Verhältnisse (Datum, Tageszeit, Belichtung, Lufttemperatur, Barometerstand)
- Untersuchung der Flora und Fauna (Abschätzung der Menge der mikroskopisch sichtbaren Tiere und Pflanzen, Planktonentnahme mit Planktonnetz über 10 min, Abkratzen der Wasserpflanzen bzw. Pfeiler, Entnahme einer Bodenprobe [25 ccm])
- Bakteriöl. Untersuchung (Kultivierung an Ort und Stelle, einheitliche Nährböden)
- Chem. Untersuchung (suspendierte Stoffe, Abdampfdruckstand, Chlorgehalt, Ammoniak, Salpetersäure, salpetrige Säure, Eisengehalt, Huminverbindungen, Kalkgehalt, Sauerstoff, Kohlensäure und Stickstoff)

Dieser Plan konnte mit leichten Änderungen ausgeführt werden und für das Fluss- und Grabensystem der Bäke, Nuthe, Panke und Schwärze eine umfangreiche Aufnahme des Zustands erfolgen (LINDAU et al. 1901). Wichtige Resultate der Untersuchung waren u.a., dass sich die Verunreinigung eines Gewässers daran erkennen lässt, dass gewisse Organismen ausbleiben und andere dagegen in größeren Mengen auftreten. Der Einfluss der Jahreszeiten auf die Organismen wurde als außerordentlich groß erkannt und die Notwendigkeit der Probenahme zu unterschiedlichen Jahreszeiten betont. Zur Prüfung der Hypothese, dass bei gewissen Verunreinigungen bestimmte Gemeinschaften von Pflanzen und Tieren anzutreffen sind, wurde weiterer Untersuchungsbedarf angegeben. Kolkwitz und Marsson führten weitere Untersuchungen durch und veröffentlichten im Jahre 1902 „Grundsätze für die biologische Beurtheilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna“, die das Saprobien-system begründeten. Sie stellten fest: „Durch das Zusammenarbeiten von Chemie, Botanik, Bakteriologie und Zoologie sind wir in neuerer Zeit in der Beurtheilung der Beschaffenheit eines Gewässers wesentlich vorwärts gekommen, und es steht sicher zu hoffen, daß noch weitere erhebliche Fortschritte zu erzielen sein werden“ (KOLK-WITZ & MARSSON 1902).

Lindau und Kollegen führten diese planmäßige fachübergreifende Zusammenarbeit zum ersten Male in einer großen Beobachtungsreihe durch. Bemerkenswert ist dabei auch das Eingeständnis der Unvollständigkeit des eigenen Wissens: „Es [das Untersuchungsergebnis] zeigt uns, dass wir in der Frage der Verunreinigungen der Gewässer noch herzlich wenig wissen, viel weniger, als wir uns bisher einbildeten“ (LINDAU et al. 1901). Mit der durch Schmidtmann betriebenen Gründung der Königl-

lichen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwärbeseitigung wurde die fachübergreifende Zusammenarbeit als Standard für nachfolgende Gewässeruntersuchungen etabliert.

4.2.2 Systematische Rheinuntersuchungen 1904–1908

„Um eine zuverlässige Grundlage für die hinsichtlich der sanitären Verhältnisse des Rheins und der damit zusammenhängenden Fragen weiterhin einzunehmende Haltung zu gewinnen, würde die bayrische Regierung es für wünschenswert erachten, daß die Wirkungen der bestehenden Kanaleinleitungen in den Rhein auf die Beschaffenheit und Benutzbarkeit des Rheinwassers einer fortgesetzten gründlichen Prüfung unterstellt werden.“ Mit diesem Satz begann ein Schreiben des Königlich Bayerischen Staatsministerium des Inneren in Berlin vom 31. Juli 1902 (GeStA I HA Rep. 76 VIII B, Nr. 2167), in dem die Absicht der bayrischen Regierung mitgeteilt wurde, eigene Wasseruntersuchungen des Rheins vorzunehmen (Bayern war mit der Pfalz ein direkter Rheinanlieger). Eine Abstimmung und Information bezüglich etwaiger Untersuchungen weiterer deutscher Bundesstaaten am Rhein, um sie „nach gleichmäßigen Grundsätzen“ vorzunehmen, war erwünscht und führte schließlich im Januar 1904 in Mainz zu einer Beratung von Vertretern des Reichs, Preußens, Bayerns, Badens, Hessens und Elsaß-Lothringens über die Organisation einer fortlaufenden systematischen Untersuchung des Rheinstroms und seiner Verunreinigung von Basel bis Koblenz. Auf dieser Beratung erfolgten grundsätzliche Absprachen zur Probenahme (1 m unter Wasseroberfläche, fließzeitkonform, mehrere Proben pro Querprofil), zur Aufteilung der Strecke Basel–Koblenz in sieben Flussstrecken und deren gruppenweise Bearbeitung (Tab. 2). Festgelegt wurden auch 35 Entnahmeprofile am Rheinstrom und wichtigen Zuflüssen sowie der Umfang chemischer, physikalischer und bakteriologischer Untersuchungen (GeStA, I. HA Rep. 76, VIII B, Nr. 2167). Die Koordination und die Zusammenführung der Ergebnisse wurden durch das Kaiserliche Gesundheitsamt übernommen.

Bei einer weiteren Besprechung im Juli 1904 in Mainz wurden den Untersuchungsgruppen verschiedene Entnahmeapparate und Probenahmeverfahren demonstriert, aufbauend auf den Erfahrungen der Mainzer Kanalwasseruntersuchungen (OHL-MÜLLER 1904). Eine einheitliche Verwendung wurde vereinbart.

Die erste systematische Rheinuntersuchung fand im Oktober 1904 statt, weitere folgten in annähernd monatlichen Abständen. Nach sechs Untersuchungen trafen sich die Vertreter der teilnehmenden Bundesstaaten und des Reichs im April 1905 in Mannheim zum Erfahrungsaustausch: In die Ergebnistabellen sollten danach zusätzlich Angaben zur Strömungsgeschwindigkeit und Wassermenge aufgenommen werden und Einzelheiten, die für die Beurteilung der analytischen Ergebnisse von Bedeutung sind, wie besondere Abwassereinleitungen, ausführlich in einer Anlage angegeben werden. Eine einheitliche, von der preußischen Gruppe entworfene Ergebnistabelle wurde eingeführt, den Formularservice übernahm das Kaiserliche Gesundheitsamt (BArch R 154 / 1736). Ein weiteres Thema war die Durchführung ergänzender biologischer Untersuchungen. Ergebnisse einer Probeuntersuchung (LAUTERBORN 1905) wurden vorgestellt. Die Strecke Basel–Koblenz sollte unterteilt in zwei Teilstrecken künftig dreimal pro Jahr biologisch untersucht werden.

Mit den annähernd monatlich ausgeführten chemisch-physikalischen und bakteriologischen Untersuchungen konnte ein guter Überblick über den Stand der Verunreinigung des Rheins gewonnen werden. Im Zwischenbericht nach 11 durchgeführten Untersuchungen stellte der Leiter der Gruppe 6 im März 1906 fest: „Wir wissen, daß der Rhein auf kürzere oder längere Strecken, rechts oder links, mehr oder weniger verunreinigt, im allgemeinen aber besonders in der Mitte, etwa im Talweg, von noch zufriedenstellender Beschaffenheit ist. Diese Auffassung müßte aber sofort eine wesentliche Einschränkung erfahren, wenn die Verunreinigungsquellen sich ihrer Zahl und Intensität nach vermehren“ (BArch R 154 / 1692).

Tabelle 2

Einteilung der Untersuchungsgruppen für die Untersuchungen 1 bis 3 (Okt., Nov., Dez. 1904) der systematischen Rheinuntersuchung (Quellen: GeStA I HA Rep. 76 VIII B, Nr. 2138 / Nr. 2139)

Arrangement of groups for the systematic investigation of the River Rhine (Oct., Nov., Dec. 1904)

Bundesstaat	Gruppe	Flussstrecke	Probenahme	chem.-physikal. & bakteriolog. Untersuchung
Baden	1	Basel bis Neuenburg	Ghz. Chem.-techn. Prüfungs- und Versuchsanstalt Karlsruhe	Ghz. Lebensmitteluntersuchungsstation an der technischen Hochschule in Karlsruhe
	3	Rhein oh. und uh. des Albflusses		
Elsaß-Lothringen	2	Kehl bis Illmündung	Chem. Laboratorium der Kaiserl. Polizeidirektion in Straßburg Institut für Hygiene und Bakteriologie der Universität Straßburg	Chem. Laboratorium der Kaiserl. Polizeidirektion in Straßburg Institut für Hygiene und Bakteriologie der Universität Straßburg
Bayern	4	Rhein oh. und uh. des Speyerbaches	Kgl. Straßen- und Flußbauamt Speyer, Hygienisches Institut der Universität Würzburg	Staatliches Untersuchungsamt für Nahrungs- und Genußmittel in Speyer Kgl. bakteriologische Untersuchungsstation Landau
	5	Rhein oh. Rheinau bis zur Oppauer Fähre		
Hessen	6	Worms bis Rüdesheim	Ghz. Wasserbauämter Mainz und Worms	Chem. Untersuchungsamt der Provinz Rheinhessen, Mainz
Preußen	7	Rüdesheim bis Niederwerth	Kgl. Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwärbeseitigung	Kgl. Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwärbeseitigung

Nach der 12. Untersuchung berieten Vertreter des Reichs und der beteiligten Bundesstaaten im Juli 1906 in Karlsruhe über die bisherigen Ergebnisse und die Fortführung der Untersuchungen (GeStA I. HA Rep. 76 VIII B Nr. 2167) und beschlossen, dass die chemisch-physikalischen und bakteriologischen Untersuchungen als periodische Kontrolluntersuchungen zweimal jährlich (im Februar und Juli) an nur noch 12 Querprofilen erfolgen sollten. Absprachen zur einheitlichen Anwendung von Analysemethoden (z.B. Verwendung gleicher Filter und Volumina für die Bestimmung der Menge suspendierter Stoffe) und die für alle Gruppen einheitliche Bereitstellung von Nährgelatine zur Keimzahlbestimmung durch das Kaiserliche Gesundheitsamt dienten der späteren Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse.

Bis Juli 1908 fanden insgesamt 16 chemisch-physikalische und bakteriologische Untersuchungen und 8 biologische Untersuchungen statt. Eine für Februar 1909 geplante Untersuchung fiel wegen Eisgang des Rheins aus, weitere Untersuchungen wurden ausgesetzt (BArch R 154 / 1735). Die Auswertung der Ergebnisse der systematischen chemisch-physikalischen und bakteriologischen Rheinuntersuchungen im Kaiserlichen Gesundheitsamt stieß auf Schwierigkeiten: „Die Verunreinigung am oberen Rhein war so gering, dass sie mit den üblichen Verfahren der chemischen Wasseranalyse nicht sicher zu erkennen war“ (GeStA I. HA Rep. 76 VIII B Nr. 2167). Wegen Differenzen der Untersuchungsmethodik konnten für einige Kenngrößen die Werte einzelner Gruppen nicht berücksichtigt werden. Ein umfangreicher Bericht wurde 1910 fertiggestellt, jedoch nicht im Reichs-Gesundheitsrat diskutiert und auch nicht veröffentlicht. So finden sich in der Literatur lediglich spärliche Hinweise auf die Durchführung dieser Untersuchungen (z.B. REICHSTAG 1904a, MARSSON 1907). Die Berichte der biologischen Rheinuntersuchungen wurden komplett in den Arbeiten aus dem Kaiserlichen Gesundheitsamte veröffentlicht.



Abbildung 1

Entnahme von Wasserproben vom Boot aus (um 1900) (Quelle: Stadtarchiv Worms)
Water sampling from a boat (around 1900) (source: Stadtarchiv Worms)

4.3 Etablierung von (Dauer-) Messnetzen (ab ca. 1909)

4.3.1 Mainwasser-Untersuchungsamt Wiesbaden

Mit einer Petition an den Reichstag machten im Januar 1904 mehrere Fischereigenossenschaften und ein Schwimmklub auf die „fortgesetzte Verunreinigung des Mainwassers durch unreine Fabrikabwässer und übelriechenden Kanalschmutz“ aufmerksam. Sie führten an: „Das Flußwasser sei bei Frankfurt an vielen Tagen von dunkelroter, zuweilen auch von grüner, gelber und dunkelblauer Farbe gewesen [...] für die in demselben badenden Personen im höchsten Grade ekelregend“ (REICHSTAG 1904b). Da die fortgesetzten Eingaben, Petitionen und Beschwerden Gebiete dreier Bundesstaaten, Bayern, Hessen und Preußen, mit zahlreichen Fabriken und städtischen Kanalisationen betrafen, waren schnelle Erfolge gegen die Verunreinigung des unteren Mains nicht zu erwarten.

Preußen hatte als Unterlieger nach einer Mainbefahrung im November 1903 den Plan für eine ausführliche biologische, bakteriologische und chemische Untersuchung des Mains von Aschaffenburg bis zur Mündung in den Rhein aufgestellt, die unter Beteiligung bayrischer und hessischer Vertreter vom 28.8. bis 24.9.1904 durch die Königliche Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwässerbeseitigung durchgeführt wurde (MARSSON 1904). Die dabei gewonnenen Erkenntnisse führten nach Ressortabstimmungen zwischen den betroffenen preußischen Ministerien am 7. September 1906 zu einem Erlass, in dem hinsichtlich der Fabrikabwässer eine Nachprüfung der Konzessionsurkunden, die Anlage einer genügenden Anzahl von Kontrollschächten für die Abwässerkontrolle und eine kontinuierliche Ableitung der Abwässer angeordnet wurden. Die Zusammenarbeit der zuständigen Wasserbau-, Medizinal- und Gewerbeaufsichtsbeamten sollte durch regelmäßigen Erfahrungsaustausch verbessert werden. Im März 1907 wurde der Gewerbeinspektion Frankfurt a.M. zur Verstärkung des Abwasserkontrolldienstes zusätzlich ein Chemiker

zugewiesen. Sofern eine ausreichende Abwässerkontrolle mit den vorhandenen Behörden nicht erreichbar sein sollte, wurde die Übertragung an eine Sonderstelle angekündigt (GeStA I. HA Rep. 76, VIII B, 2140). Mit den am 23. Januar 1908 in Frankfurt a.M. aufgestellten Grundsätzen für die Mainkontrolle wurde die Abwässerkontrolle der preußischen Mainstrecke neu geregelt und die Untersuchung aller Proben durch die auszubauende Medizinal-Untersuchungsstelle zu Wiesbaden beschlossen. Alle Verunreinigungsquellen sollten untersucht werden: Abwässer der Ortschaften, Abwässer von 10 benannten Fabriken sowie von Zuflüssen des Mains. Neben regelmäßigen vierzehntäglichen Probenahmen waren häufige außerordentliche Probenahmen geplant. Die Abwässer der Ortschaften waren chemisch, bakteriologisch und biologisch zu untersuchen, bei den gewerblichen Abwässern wurde die chemische Zusammensetzung bestimmt und die Übereinstimmung mit den Genehmigungen geprüft (GeStA I. HA Rep. 76, VIII B, 2987).

Die preußischen Bemühungen zur Etablierung eines regelmäßigen Überwachungsdienstes wurden durch Abstimmungsgespräche zwischen Vertretern des Reichs, Preußens, Bayerns und Hessens im Juni 1907 (GeStA I. HA Rep. 76, VIII B, 2140) und Juni 1909 flankiert. Eine „von sachverständigen Beamten geübte strenge Überwachung des Flußlaufes und der einzelnen Verschmutzungsquellen [wurde] als das wirksamste Mittel anerkannt, um der zunehmenden Verschmutzung entgegenzutreten“ (GeStA I. HA Rep. 76, VIII B, 2141). Preußen konnte die volle Aufnahme der Tätigkeit der Medizinal-Untersuchungsstelle in Wiesbaden bei der Mainkontrolle für den 1. Juli 1909 ankündigen. Nach der zum 31. März 1910 erfolgten Verlagerung der gewöhnlichen Aufgaben einer Medizinal-Untersuchungsstelle von Wiesbaden nach Koblenz wurde die Untersuchungsstelle in Wiesbaden in Mainwasser-Untersuchungsamt umbenannt. Zum 1. April 1912 wurde das Mainwasser-Untersuchungsamt als besondere Abteilung an die Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwärserbeseitigung angegliedert (GeStA I. HA Rep. 76, VIII B, 2989).

4.3.2 Flußwasser-Untersuchungsamt Magdeburg

Anlass für die 1925 erfolgte Einrichtung der Abwasser-Untersuchungsstelle Magdeburg war eine Entscheidung des preußischen Landeswasseramtes, mehreren Kaliwerken das Recht zur Ableitung erhöhter Kaliabwassermengen nur unter der Bedingung einer an der unteren Saale und unterhalb der Saale-Mündung vorhandenen amtlichen Überwachung der Einleitungen zu erteilen. In einer gutachterlichen Äußerung vom 13. Oktober 1922 sprach sich die Landesanstalt für Wasserhygiene für die Einrichtung einer Untersuchungsstelle im Regierungsbezirk

Magdeburg (Provinz Sachsen) aus und forderte auch für die Abwässer der Städte und Gemeinden und aller bedeutenden Industrien fachlich umfassende Untersuchungen. „Eine allen Zwecken gerecht werdende Abwasser-Untersuchungsstelle hätte demnach also aus Chemikern zu bestehen, denen ein Biologe, Hydrologe und Bakteriologe beizugeben wäre“ (BArch R 154 / 12341). Bei einer Besprechung von Regierungs- und Industrievertretern der Länder Preußen und Anhalt im Januar 1923 in Magdeburg wurde der Einrichtung einer Abwasser-Untersuchungsstelle zugestimmt, die als Novum für Flusswasseruntersuchungsämter sowohl mehrere Industrien als auch mehrere Länder überwachen sollte (BArch R 154 / 12341). Nach Übernahme der Abwasser-Untersuchungsstelle Sondershausen 1927 erfolgte eine Umbenennung in Flußwasser-Untersuchungsamt Magdeburg. Im Geschäftsjahr 1927/28 betrug die Zahl der überwachten Betriebe 269. An 33 Stellen in den Gewässern wurden laufend (meist täglich) Proben entnommen. Neben den Überwachungsaufgaben erfolgte eine intensive Beratung von Zuckerfabriken beim Einsatz von Abwasserreinigungsverfahren (FLUSSWASSERUNTERSUCHUNGSAMT MAGDEBURG 1928).

5 Erkenntnisse aus historischen Gewässeruntersuchungen

Im Hinblick auf den o.g. Umfang der erhobenen Kenngrößen, auf die aus den Messergebnissen gewonnenen Erkenntnisse und organisatorische Aspekte können historische Gewässeruntersuchungen wichtige originäre Datensätze liefern und Anregungen für heutige Untersuchungsprogramme geben.

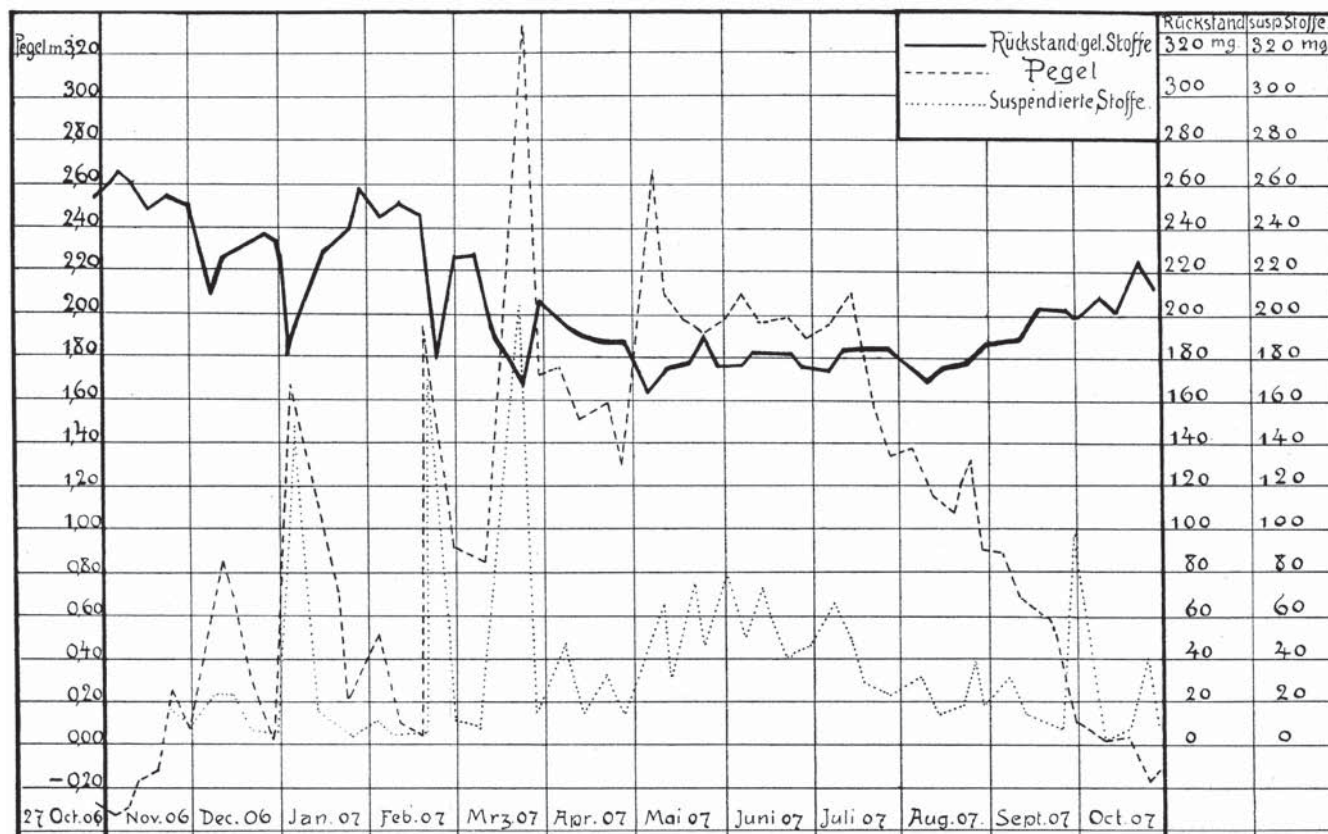


Abbildung 2

Ergebnisse wöchentlicher Untersuchungen des Rheins oberhalb der Mündung des Mains 1906–1907 (aus EGGGER 1908)

Results of weekly investigations of the River Rhine upstream of the inflow of the River Main 1906–1907 (from EGGGER 1908)

Kenngroößen wie Keimzahl, Magnesium, Kalzium, Chlorid, Sauerstoffverbrauch, Sättigungsdefizit, suspendierte Stoffe (organischer und anorganischer Anteil) sowie Trockenrückstand gelöster Stoffe sind Basiskenngrößen, die auch heute noch bedeutsam für eine Gesamtbewertung des chemischen Zustands sind. Für die Leichtmetalle und Chlorid ist der Vergleich historischer Untersuchungsergebnisse mit heutigen Werten besonders interessant, wenn man den geogenen Anteil und die durch menschliche Aktivitäten verursachten Änderungen unterscheiden will.

Wenn an einem Messpunkt über das Jahr die „allwöchentlichen“ Messungen noch mit dem Pegelstand korreliert wurden (s. Abb. 2), so ließen sich klare gewässerkundliche Zusammenhänge grafisch aufzeigen. Auch heute ist die Interpretation dieser Abfluss-Konzentrations-Beziehung der erste Schritt zu einer Aussage über Herkunft und Verbleib von Schadstoffen (HELLMANN 1986). Bezüglich historischer Ergebnisse aus der Messung des organischen Anteils (Glühverlust) und insbesondere der Keimzahl lässt sich im Vergleich mit heutigen Daten zweifellos eine deutliche Verbesserung der hygienischen Verhältnisse in den großen Flüssen feststellen. Dies beruht nicht zuletzt auf einem hohen Kläranlagen-Anschlussgrad und einer umfassenden emissionsbezogenen Gesetzgebung. Typische Kenngrößen für die Belastung mit Abwasser haben daher in den heutigen Untersuchungsprogrammen eine geringere Bedeutung.

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden für die großen deutschen Flüsse nationale und internationale Flussgebietskommissionen gegründet, die den Schutz vor Verunreinigungen zur Aufgabe hatten. Entsprechende chemische Untersuchungsprogramme begannen z.B. am Rhein im Jahr 1953 mit koordinierten Untersuchungen vom Bodensee bis in die Niederlande. Die heutigen Untersuchungsprogramme sind wesentlich durch die Europäische Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) geprägt. Diese fordert Instrumente einer integrativen Beurteilung und Bewirtschaftung von Flussgebieten und hat neue Bewertungskriterien und Beurteilungsmaßstäbe eingeführt. Die im Oktober 1904 erstmalig ausgeführten „systematischen Rheinuntersuchungen“ lösten das für heutige chemische Untersuchungsprogramme wichtige Kriterium bzw. Problem der repräsentativen Probenahme, indem jeweils am linken und rechten Uferbereich als auch in der Strommitte eine Wasserprobe entnommen wurde. Aus den Ergebnissen der einzelnen Proben konnten dann leicht die Abwasserfahnen von Einleitern zugeordnet werden bzw. die Repräsentativität bezüglich ausgewählter Kenngrößen über den Flussquerschnitt ermittelt werden. Diese Vorgehensweise, nämlich Ergebnisse im Querprofil zugrunde zu legen, wird in Deutschland sehr aktuell wieder im Zuge der Einführung der EU-Richtlinie „Prioritäre Stoffe“ (2008/105/EG) diskutiert. Hier müsste alternativ eine Ausweisung sogenannter Durchmischungszonen (Bereiche, in denen Umweltqualitätsnormen nicht eingehalten sein müssen) unterhalb von Einleitungen erfolgen.

Die von Lauterborn und Marsson 1905–1908 parallel zu den chemisch-physikalischen und bakteriologischen Rheinuntersuchungen durchgeführten biologischen Untersuchungen sind als systematische Bestandsaufnahme von hohem wissenschaftlichen Wert. Sie liefern einen maßgeblichen Beitrag für eine Rekonstruktion der ursprünglichen Besiedlung des Flussbettes (Makrozoobenthos), die für die Definition des Referenzzustandes für den „guten oder sehr guten ökologischen Zustand“ des Rheins bedeutsam ist.

Die Berichterstattung über Untersuchungsergebnisse erfolgte bereits im frühen 20. Jahrhundert sehr klar und nachvollziehbar. Ergebnistabellen wurden zunehmend vereinheitlicht und durch grafische Darstellungen ergänzt, die mit beeindruckender Akribie per Hand entworfen wurden. Regelmäßige Berichte zu den Ergebnissen der Messnetze der Flusswasseruntersuchungsämter sind Vorläufer der sogenannten Zahlentafeln für physikalisch-chemische Untersuchungen in Flussgebieten z.B. bei Elbe, Weser und Rhein, die inzwischen im Internet veröffentlicht werden. Grundlagen für aktuelle Probenahmestrategien als auch für gewässerkundliche Auswertungen und Bewertungen in den heutigen Untersuchungsprogrammen wurden somit schon vor über hundert Jahren erarbeitet.

6 Zusammenfassung

Vor dem Hintergrund einer zunehmenden Verunreinigung der Gewässer erhöhte sich an der Schwelle zum 20. Jahrhundert die zeitliche, räumliche und fachliche Breite der Gewässeruntersuchungen. Mediziner, Chemiker, Bakteriologen, Botaniker und Zoologen arbeiteten in neu gegründeten Fachbehörden wie der Königlichen Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung gemeinsam an der Untersuchung ganzer Flussgebiete bzw. Teilgebiete. In Kooperation mehrerer Bundesstaaten konnte der Rhein von Basel bis Koblenz von 1904 bis 1908 teilweise monatlich untersucht werden. Mit dem Mainwasser-Untersuchungsamt Wiesbaden wurde 1909 an einem Brennpunkt der Gewässerverschmutzung eine Überwachungsstelle etabliert, die regelmäßige Untersuchungen an festgelegten Stellen im Gewässer und direkt bei den Fabrikabläufen vornahm. Sowohl für das Einzugsgebiet des Rheins als auch für die Elbe lässt sich der Entwicklungsstrang von frühen Einzeluntersuchungen über fachübergreifende und überregionale Untersuchungskampagnen bis zur Etablierung von (Dauer-) Messnetzen verfolgen. Für aktuelle Untersuchungsprogramme können Ergebnisse und organisatorische Aspekte historischer Gewässeruntersuchungen sowohl Grundlagen wie auch vielfältige Anregung bieten.

Summary

Against the background of increasing pollution of waters on the edge of the 20th century, the temporal, spatial, and professional width of investigations on waters was also growing. Physicians, chemists, bacteriologists, botanists, and zoologists worked together in newly founded agencies like the Prussian 'Königliche Versuchs- und Prüfungsanstalt für Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung' to investigate whole catchments or parts thereof. Several federal states together carried out investigations of the River Rhine from Basel to Koblenz sometimes on a monthly basis from 1904–1908. With the establishment of the 'Mainwasser-Untersuchungsamt' (river inspection board for the Main) in 1909 at a hotspot of river pollution, sampling at fixed locations in the river and at the outlets of the factories could be archived at regular intervals. In the catchments of the rivers Rhine and Elbe, the development from early individual investigations to multidisciplinary and supra-regional surveys and further to the establishment of (long-term) monitoring networks are apparent. Historical investigations of waters, especially their results and organizational aspects may give inspiration even for today's monitoring programmes.

Anschriften der Verfasser:

Dr. D. Schwandt
Dr. M. Keller
Bundesanstalt für Gewässerkunde
Abteilung Qualitative Gewässerkunde
Am Mainzer Tor 1, 56068 Koblenz
Schwandt@bafg.de

Dr. M. Deutsch
Sächsische Akademie der Wissenschaften zu Leipzig
DFG-Weikinn-Projekt
K-Tauchnitz-Straße 1, 04107 Leipzig

Verzeichnis handschriftlicher Quellen

Bundesarchiv, Berlin-Lichterfelde (BArch):
R 154 / 1692
R 154 / 1735
R 154 / 1736
R 154 / 12278
R 154 / 12288
R 154 / 12341

Geheimes Staatsarchiv Preußischer Kulturbesitz (GeStA):
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2138
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2139
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2140
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2141
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2167
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2987
I. HA Rep. 76 Kultusministerium, VIII B, Nr. 2989
I. HA Rep. 89 Geheimes Zivilkabinett, jüngere Periode Nr. 24181

Literaturverzeichnis, Verzeichnis gedruckter Quellen

ANDERSEN, A. (1996): Historische Technikfolgenabschätzung am Beispiel des Metallhüttenwesens und der Chemieindustrie 1850–1933. – Steiner Verlag, Stuttgart

BECKURTS, H., A. ORTH & O. SPITTA (1912): Gutachten des Reichs-Gesundheitsrats, betreffend die Versalzung des Wassers von Wipper und Unstrut durch Endlaugen aus Chlorkalium-Fabriken. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 38, S. 1–124

BENINDE, M. (1926): Die Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene zu Berlin-Dahlem im Laufe der Zeiten. – Veröff. a. d. Gebiete d. Medizinalverwaltung, Bd. 21, H. 5, S. 1–64

BISCHOF, G. (1863): Lehrbuch der chemischen und physikalischen Geologie. 1. Bd. – Bonn

BONGERT, D., H. EITENEYER & L. PAWLOWSKI (Hrsg.) (2001): 100 Jahre Verein für Wasser-, Boden- und Lufthygiene e.V. 1902–2002. – Schriftenreihe d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene Nr. 110. – Eigenverlag, Berlin

BÜSCHENFELD, J. (1997): Flüsse und Kloaken. – Klett-Cotta, Stuttgart

BÜSCHENFELD, J. (2008): Das Abwasserproblem im Widerstreit der Interessen. Akteure, Konflikte und Lösungsmuster in der Phase der Hochindustrialisierung. – In: BEBERMEIER, W., A.-S. HENNING & M. MUTZ (Hrsg.): Vom Wasser. – Schriftenreihe der DWhG, Sonderband 4, Norderstedt, S. 17–47

CANTZLER, A. & A. SPLITTGERBER (1916): Die Ergebnisse von Rheinwasseruntersuchungen aus den Jahren 1907 bis 1913 auf der Strecke von Mannheim bis Worms. – Verein für Wasser- und Gaswirtschaft, Vereinsschriften, H. 1, Dt. Kommunal-Verlag, Berlin-Friedenau

EGGER, E. (1908/09): Beiträge zur hydrochemischen Untersuchung des Rheins und seiner hauptsächlichsten Nebenflüsse. – Notizblatt d. Vereins f. Erdkunde u. d. Ghzl. Geolog. Landesanstalt zu Darmstadt. IV. Folge, H. 29, S. 105–146 (1908); H. 30, S. 87–127 (1909)

EULENBERG, H. (Hrsg.) (1883): Gutachten der Königlichen wissenschaftlichen Deputation für das Medicinalwesen in Preußen über die Canalisation der Städte. – Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Medicin u. öffentl. Sanitätswesen, NF, Bd. 39, Suppl., 156 S.

FISCHER, F. (1902): Das Wasser, seine Verwendung, Reinigung und Beurtheilung mit besonderer Berücksichtigung der gewerblichen Abwässer und der Flussverunreinigung. – Springer, Berlin

FLUSSWASSERUNTERSUCHUNGSAMT MAGDEBURG (1928): Bericht des Flußwasseruntersuchungsamtes in Magdeburg über die Tätigkeit des Amtes im Geschäftsjahr 1927/28. – Magdeburg

GÄRTNER, A. & M. RUBNER (1903): Gutachten des Reichs-Gesundheitsrathes über die Einleitung der Abwässer Dresdens in die Elbe. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 19, S. 458–507

GILHAUS, U. (1995): „Schmerzenskinder der Industrie“. – Schöningh, Paderborn

GÜNTHER, C. (1913): Die wissenschaftliche Tätigkeit der Landesanstalt für Wasserhygiene in den ersten 12 Jahren ihres Bestehens. – Mitt. a. d. Kgl. Landesanstalt f. Wasserhygiene, H. 17, S. XVII–XLIV

HELLMANN, H. (1986): Analytik von Oberflächengewässern. – Thieme, Stuttgart

HENNEKING, R. (1994): Chemische Industrie und Umwelt. – Steiner Verlag, Stuttgart

HÜNTELMANN, A. (2008): Hygiene im Namen des Staates. – Wallstein Verlag, Göttingen

JURISCH, K. (1890): Die Verunreinigung der Gewässer. – Gaertner's Verlagsbuchhandlung, Berlin

- KAISERLICHES GESUNDHEITSAMT (Bearb.) (1905–1915): Übersicht über die Jahresberichte der öffentlichen Anstalten zur technischen Untersuchung von Nahrungs- und Genußmitteln im Deutschen Reich für das Jahr (1902–1911). – Springer, Berlin
- KAISERLICHES GESUNDHEITSAMT & KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (1907): Das Deutsche Reich in gesundheitlicher und demographischer Beziehung. – Berlin
- KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (Hrsg.) (1881): Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich 1880. – Berlin
- KAISERLICHES STATISTISCHES AMT (Hrsg.) (1906): Statistisches Jahrbuch für das Deutsche Reich 1905. – Berlin
- KLUT, H. (1911): Untersuchung des Wassers an Ort und Stelle. – Springer, Berlin
- KOCH, R. (1893): Die Cholera in Deutschland während des Winters 1892 bis 1893. – Zeitschrift f. Hygiene, XV, Berlin, S. 89–165
- KOLKWITZ, R. & M. MARSSON (1902): Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna. – Mitt. a. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwässerbeseitigung, H. 1, S. 33–72
- KÖNIG, J. (1887): Die Verunreinigung der Gewässer, deren schädliche Folgen, nebst Mitteln zur Reinigung der Schmutzwässer. – Springer, Berlin
- LAUTERBORN, R. (1905): Die Ergebnisse einer biologischen Probeuntersuchung des Rheins. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 22, S. 630–652
- LANGE, J. (2002): Zur Geschichte des Gewässerschutzes am Ober- und Hochrhein. – Eine Fallstudie zur Umwelt- und Biologiegeschichte. – Dissertation, Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
- LEHMANN, H. (1936): Das Wasser- und Abwasserwesen in Deutschland und die Preußische Landesanstalt für Wasser-, Boden- und Lufthygiene in Berlin-Dahlem. – Kl. Mitt. f. d. Mitglieder d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin. 12. Jg. Nr. 1/4, S. 1–31
- LINDAU, G., P. SCHIEMENZ, M. MARSSON, M. ELSNER, B. PROSKAUER & H. THIESING (1901): Hydrobiologische und hydrochemische Untersuchungen über die Vorfluthersysteme der Bäke, Nuthe, Panke und Schwärze. – Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Medicin u. öffentl. Sanitätswesen. 3. Folge, 21. Bd., Suppl., S. 61–218
- LOHMANN, G. (1934): Flußwasser-Untersuchungsämter. – In: BRIX, J., K. IMHOFF & R. WELDERT (Hrsg.): Die Stadtentwässerung in Deutschland. 2. Bd. – Fischer, Jena, S. 435–451
- MARSSON, M. (1904): Gutachterlicher Bericht betreffend die Verunreinigung des Mains. – Als Manuskript gedruckt. Berlin
- MARSSON, M. (1907): Bericht über die Ergebnisse der vom 14. bis zum 21. Oktober 1905 ausgeführten biologischen Untersuchung des Rheins auf der Strecke Mainz bis Coblenz. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 25, S. 140–163
- MEYEREN, G. v., H. STÖVE, M. PRÜTZ & F. SEIFERT (1934): Über Flußwasser-Untersuchungsämter und Reinhaltungsgenossenschaften. – Kl. Mitt. f. d. Mitglieder d. Vereins f. Wasser-, Boden- u. Lufthygiene, Berlin. 10. Jg. Nr. 1/4, S. 1–77
- MÜLLER (1874): Bericht betreffend Untersuchungen über das Berliner Normalwasser, das Wasser der Spree, das Wasserleitungswasser, das städtische Brunnenwasser und über die sogenannte Selbstreinigung des Schmutzwassers. – Reinigung und Entwässerung Berlins. H. 12, A, Hirschwald, Berlin
- OHLMÜLLER, C. (1890): Gutachten, betreffend die Wasserversorgung Magdeburgs. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 6, S. 319–334
- OHLMÜLLER, C. (1893): Weiteres Gutachten, betreffend die Wasserversorgung der Stadt Magdeburg. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 8, S. 409–429
- OHLMÜLLER, C. (1904): Gutachten des Reichsgesundheitsrates über die Einleitung des Mainzer Kanalwassers einschliesslich der Fäkalien in den Rhein. – Arb. a. d. Kaiserl. Gesundheitsamte, Bd. 20, S. 258–337
- PAPPENHEIM, L. (1859): Handbuch der Sanitäts-Polizei. 2. Bd., (H-Z). – Hirschwald, Berlin, S. 603
- PETTENKOFER, M. v. (1891): Ueber Selbstreinigung der Flüsse. – Dt. Med. Wochenschrift, 17. Jg., Nr. 47, S. 1277–1281
- PETTENKOFER, M. v. (1892): Acht Thesen gegen die Münchener Schwemmkanalisation. – Münchener medicinische Abhandlungen. 5. Reihe. Arb. a. d. hygien. Institute. – Verlag J.F. Lehmann, München
- PISTOR, M. (Hrsg.) (1890): Deutsches Gesundheitswesen. – Springer, Berlin
- REICHSTAG (1904a): Stenographische Berichte über die Verhandlungen des Reichstags. – XI. Legislaturperiode, I. Session, erster Sessionsabschnitt 1903/04. Protokolle, 1. Bd. S. 775
- REICHSTAG (1904b): Stenographische Berichte über die Verhandlungen des Reichstags. XI. Legislaturperiode, I. Session, erster Sessionsabschnitt 1903/04. Anlagen, 3. Bd. Drucksache Nr. 356
- RENK, F. (1903): Untersuchungen und Gutachten betreffend den Einfluß der Stadt Dresden auf die Beschaffenheit der Elbe. – In: RENK, F. (Hrsg.): Arb. a. d. Kgl. hygien. Institute zu Dresden. 1. Bd., Dresden, S. 56–144
- SALOMON (1901): Ueber bacteriologische, chemische und physikalische Rheinwasser-Untersuchungen. – Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Medicin u. öffentl. Sanitätswesen, 3. Folge, 21. Bd., Suppl., S. 25–60

- SCHMIDTMANN, A. (1900): Rückblick auf den Stand der Städte-Assanierung im verflossenen Jahr, insbesondere die Abwässer-Reinigung, und Ausblick in die voraussichtliche Weiterentwicklung. – Vierteljahrsschr. f. gerichtl. Medizin u. öffentl. Sanitätswesen, 3. Folge, 19. Bd., Suppl., S. 296–322
- SCHMIDTMANN, A. & C. GÜNTHER (1902): Vorwort. – Mitt. a. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwässerbeseitigung, H. 1, S. 1–32
- SCHULZ, C.-J. (2005): Fließgewässerbewirtschaftung unter dem Einfluss der Salzbelastung aus der Kali-Industrie. – In: OHLIG, C. (Hrsg.): Gewässerentwicklung in der Kulturlandschaft. – Schriftenreihe der DWhG, Bd. 7, Siegburg, S. 215–227
- STEUERNAGEL, C. & H. GROSSE-BOHLE (1907): Untersuchungen über den Einfluss der Niederschläge und der Abwässer auf die Zusammensetzung des Rheinwassers bei Köln. – Mitt. a. d. Kgl. Prüfungsanstalt f. Wasserversorgung u. Abwässerbeseitigung, H. 8, S. 58–98
- THUMM, K., E. GROSS, R. KOLKWITZ & H. HELFER (1921): Gutachten I (Vorgutachten) betreffend die Beschwerden einer Reihe im Bereich des Stromgebietes der Elbe belegener Kaliwerke und der Stadt Magdeburg und Genossen gegen die Beschlüsse des Bezirksausschusses in Merseburg bzw. Magdeburg wegen Verleihung des Rechts zur Einleitung von Kali- und Sodafabrikabwässern in die Unstrut, Saale, Schlenze und Bode. – Mitt. a. d. Landesanstalt f. Wasserhygiene, H. 27, S. 3–226
- TITTIZER, T. & F. KREBS (Hrsg.) (1996): Ökosystemforschung: Der Rhein und seine Auen. Eine Bilanz. – Springer, Berlin
- VIRCHOW, R. (1873): Reinigung und Entwässerung Berlins. General-Bericht über die Arbeiten der städtischen gemischten Deputation für die Untersuchung der auf die Kanalisation und Abfuhr bezüglichen Fragen. – Hirschwald, Berlin
- VOHL, H. (1871): Ueber die Bestandtheile des Rheinwassers bei Cöln und seine Verwendbarkeit zu technischen und Haushaltungs-Zwecken. – Archiv d. Pharmacie, II. Reihe, Bd. 146, S. 199–214
- WEBER, F. (1926): Das Reichsgesundheitsamt. Seine geschichtliche Entwicklung und Organisation sowie seine Bedeutung für die Volksgesundheit in den 50 Jahren seines Bestehens. – Klinische Wochenschrift. 5. Jg., Nr. 29, S. 1305–1308
- WINKELHÖFER, K., M. LESZINSKI & C. STEINBERG (2006): Industriebetriebe an der Oberspree und ihre Auswirkungen auf die biotische Beschaffenheit des Flusses im frühen 20. Jahrhundert. – In: FRANK, S. & M. GANDY (Hrsg.): Hydropolis. Wasser und die Stadt der Moderne. – Campus Verlag, Frankfurt, S. 117–145

Daniel L. Vischer

Die Entwicklung der Abflussmesser vom treibenden Blatt zum Messflügel und wieder zurück

The development of the current meters from the drifting leaf to the hydrometric spinner and back again

Bei der Abflussmessung wird in den meisten Fällen der Umweg über eine Geschwindigkeitsmessung beschritten. Der Artikel behandelt die historische Entwicklung der Geschwindigkeitsmesser seit der Renaissance. Aus der Fülle der Erfindungen setzten sich schließlich die Messflügel durch. Auf dem europäischen Kontinent des 20. Jahrhunderts wurde so der Woltmanflügel zum Standardgerät. Erst in den 1990er Jahren kamen neue Geräte auf, die auf der Partikel-Tachometrie beruhen und zukunftssträftig erscheinen.

Schlagwörter: Abflussmessung, Fließgeschwindigkeit, historische Entwicklung, Messflügel

In most of the cases river discharge is measured by a detour via velocity measurements. The article deals with the history of current meters since the time of the Renaissance. Among the many inventions, the hydrometric spinners (hydrometric propellers) prevailed. Thus, the Woltman spinner became the 20th century standard flow-meter of the European continent. Only in the 1990ies did some new instruments, based on particle velocimetry, become operational and promising.

Keywords: Current meter, flow velocity, historical development, river discharge

1 Forschen heißt messen

„Forschen heißt messen!“ Mit dieser etwas plakativen Aussage sei herausgestellt, wie wichtig wissenschaftliches Beobachten und Messen in den Naturwissenschaften sind. So stützt sich die hydrologische Forschung auf vielfältige Messungen im Wasserkreislauf. Hier soll aber nur von Abflussmessungen die Rede sein. Der Abfluss spielt ja bei allen Wasserbilanzierungen eine zentrale Rolle. Diesbezüglich sei daran erinnert, dass es solche Bilanzierungen waren, die Edmé Mariotte (ca. 1620–1684) am Ende seines Lebens zur Feststellung veranlassten, dass es der Regen sei, der die Quellen und Flüsse speise. Vorher glaubte man, der Regen reiche dafür nicht aus; der Abfluss stamme vorwiegend aus dem Erdinnern. Diese Feststellung nahmen die UNESCO und andere internationale Organisationen zum Anlass, 1974 in Paris „dreihundert Jahre wissenschaftliche Hydrologie“ zu feiern (UNESCO et al. 1974).

Der Abfluss eines Fließgewässers wird als Wasservolumen definiert, das pro Zeiteinheit durch einen Querschnitt fließt. Es gibt für kleinere Leitungen sogenannte volumetrische Methoden, die diesen Zusammenhang direkt zur Messung benutzen. Für Fließgewässer wird aber meist der Umweg über eine Bestimmung der Fließgeschwindigkeit gewählt. Erste Versuche stammen aus der Zeit der Renaissance, weshalb der nachfolgende historische Abriss bei der Renaissance beginnt (VISCHER 1996).

2 Abfluss als Produkt der Fließgeschwindigkeit und des Querschnitts

Dass der Abfluss ein Produkt aus der mittleren Fließgeschwindigkeit und des benetzten Querschnitts ist, kommt uns heute selbstverständlich vor. Die frühesten Ansätze dazu werden Leonardo da Vinci (1452–1519) und Antonio (alias Benedetto) Castelli (1577–1643) zugeschrieben. Sie erschienen erstmals in Castellis Abhandlung von 1639 „Della misura dell'acqua corrente“ (von der Messung des fließenden Wassers). Diese fand vor allem in der posthumen Ausgabe von 1660 und deren Übersetzung von 1661 ins Englische Beachtung (DOOGE 1987). Dort heißt es

im Wesentlichen: „In zwei ungleichen Querschnitten, durch die innerhalb derselben Zeit derselbe Abfluss fließt, sind die Querschnitte umgekehrt proportional zu ihren Geschwindigkeiten“. Das bringt zwar noch nicht mit letzter Klarheit zum Ausdruck, dass der Abfluss dem oben erwähnten Produkt entspricht. Aber man hat es damals offenbar so gesehen.

Nun war die Auslotung eines Querschnitts zwecks Bestimmung der benetzten Fläche nicht sehr schwierig. Hingegen bereitete die Messung der mittleren Fließgeschwindigkeit Probleme. So war lange die Frage der Geschwindigkeitsverteilung umstritten. Zwar hatte schon da Vinci festgestellt, dass sich das Wasser an der Oberfläche schneller bewegt als an der Sohle und das mit dem Widerstand dieser Sohle begründet. Dasselbe bestätigte rund 150 Jahre später auch Mariotte aufgrund sinnreicher Versuche in der Natur. Doch veröffentlichte Domenico Guglielmini (1655–1710) kurz nachher, das heißt 1690, ein Werk, in welchem er einerseits sehr zutreffend die mittlere Geschwindigkeit definierte, aber andererseits eine Zunahme der örtlichen Geschwindigkeit von der Oberfläche zur Sohle begründete. Er ging dabei von theoretischen Überlegungen aus, auf die hier nicht eingegangen werden soll. Sie ergaben in ihrer Anwendung allerdings fast ein gleichförmiges Geschwindigkeitsprofil. Erst später wurde Guglielmini gewahr, dass er mit einer idealen, also reibungslosen Flüssigkeit gerechnet hatte und korrigierte seine Überlegungen (LEVI 1995).

Die Theorie Guglielminis von 1690 beeinflusste aber noch viele Hydrauliker des 18. Jahrhunderts. Erst als Messgeräte entwickelt wurden, die ein Abtasten des gesamten Querprofils und damit eine Bestimmung der effektiven Geschwindigkeitsverteilung erlaubten, sah man klarer.

3 Die Bewegung eines treibenden Blattes

Die einfachste und wohl ursprünglichste Geschwindigkeitsmessung besteht darin, dass man die Fließzeit eines zufällig auf dem Wasser treibenden Blattes längs einer Fließstrecke erhebt. Für die Zeitmessung benötigt man eine Uhr, für die Erfassung der

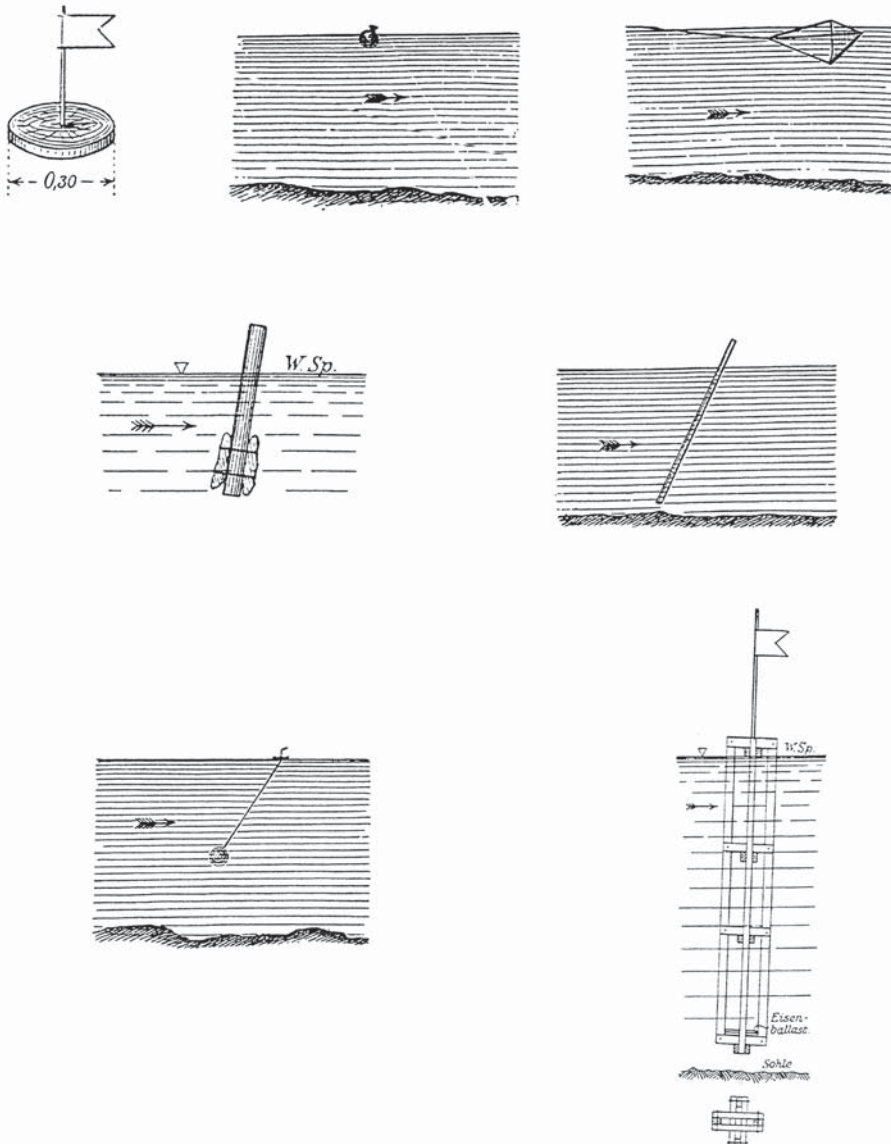


Abbildung 1
Freie Schwimmer und ein einfaches Log (aus JASMUND 1911)
Free floats and a simple log (tethered float)

Strecke ein Längenmaß, beispielsweise ein geeichtes Schrittmaß. An die Stelle des Blattes kann selbstverständlich auch anderes Treibzeug treten. Warum aber ist man darauf angewiesen?

An sich lässt sich ein Wasserteilchen nicht von einem anderen unterscheiden. Will man ein solches beobachten, muss ein geeigneter Platzhalter verwendet werden. Dabei sollte sich dieser Platzhalter möglichst gleich bewegen wie das von ihm verdrängte Wasserteilchen: Er darf keinen Schlupf haben! Das treibende Blatt ist ein solcher Platzhalter, der vom Auge wahrgenommen werden kann.

4 Der Einsatz von Driftkörpern

Um von den Zufälligkeiten des natürlichen Treibzeugs unabhängig zu sein, setzt man künstliche Driftkörper ein. Abbildung 1 vermittelt eine Auswahl der früher verwendeten Formen. Weil diese Driftkörper alle schwimmen, wurden sie kurzerhand als Schwimmer bezeichnet. Ihre Bahnen liegen also parallel zur

Wasseroberfläche. Damit ist auch gesagt, dass sie – ebenso wie das treibende Blatt – keine perfekten Platzhalter sind. Denn es gibt in Fließgewässern keine Wasserteilchen, die diese Parallelität aufweisen. Da man sich aber letztlich für die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu einem Querschnitt interessiert, spielt das keine Rolle.

Wie steht es mit dem Schlupf der Schwimmer? Ohne hier groß in Theorie zu machen, sei an das bekannte Voraus-eilen von Flößen erinnert. Infolge des Fließgefälles unterliegt ein Floß ja einer entsprechenden Gewichtskomponente, die bei stationärer Bewegung durch eine andere Kraft aufgewogen wird. Und diese Kraft ist ein Strömungswiderstand, der sich nur einstellen kann, wenn das Floß etwas schneller läuft als das Wasser. Der Schlupf ist umso größer, je größer das Floß ist. Bei den kleinen Schwimmern ist er sehr viel geringer und beim treibenden Blatt wohl vernachlässigbar.

Schwimmer, die stark aus dem Wasser ragen oder Markierfähnchen usw. tragen, unterliegen natürlich störenden Windeinflüssen. Einfache Schwimmer liefern nur Werte der Oberflächengeschwindigkeit. Schon Leonardo da Vinci soll deshalb neben solchen auch Tiefenschwimmer eingesetzt haben. Meist wird angenommen, dass ein Tiefenschwimmer die Umgebungsgeschwindigkeit des unteren, weil viel größer gewählten Driftkörpers annimmt. 1646 brachte Nicolò Cabeo (1586–1650) den Schwimmstab in Vorschlag, der annähernd die über seine Eintauchtiefe gemittelte Wassergeschwindigkeit anzeigt.

Bei Tiefenschwimmern wie bei Schwimmstäben besteht die Gefahr, dass sie auf Grund laufen.

Schwimmer wurden jedenfalls in den verschiedensten Ausführungen noch bis anfangs des 20. Jahrhunderts verwendet.

5 Ein Versuch von Leonardo da Vinci

Von Interesse ist noch die konkrete Beschreibung eines Versuchs von da Vinci. Er wollte an einem Fluss das Fließgefälle mit der Fließgeschwindigkeit in Verbindung bringen. Abbildung 2 zeigt eine aufgrund seiner Notizen erstellte Illustration (aus BISWAS 1970): Ein Schwimmer driftet im Stromstrich. Da Vinci folgt ihm auf gleicher Höhe am Ufer und misst seinen Weg mit einem Messrad. Die dabei ablaufende Zeit erhebt er, indem er eine Tonleiter auf und ab singt. Offenbar hat er diesen Gesang vorgängig anhand eines anderen Zeitmessers geeicht, etwa so wie jemand sein Schrittmaß mit einer gegebenen Strecke vergleicht. Die Wasserwaage zur Gefällsbestimmung ist ebenfalls sichtbar.

**Abbildung 2**

Geschwindigkeitsmessung durch Leonardo da Vinci (Zeichnung nach seinen Notizen, aus BISWAS 1970).

Measurement of velocity by Leonardo da Vinci

Aufgrund anderer Notizen wurde die Abbildung noch durch einen Gehilfen ergänzt, der eine Serie von weiteren Schwimmern bereitstellt. Die Frage, ob da Vinci diesen Versuch tatsächlich so durchgeführt oder nur erdacht hat, muss hier offen bleiben („se non è vero, è ben trovato“, wenn es nicht wahr ist, ist es gut erfunden, heißt ein italienisches Sprichwort).

6 Der Einsatz von Staukörpern

Das Gegenteil eines Driftkörpers ist ein festes Strömungshindernis, das heißt ein Staukörper. Dieser erfährt die volle Strömungskraft und bleibt nur dann in Ruhe, wenn er von einer gleich großen Auflagerkraft gehalten wird. Durch Messen der Auflagerkraft kann man auf die Strömungskraft schließen. Sie ist im Wesentlichen zum Quadrat der Fließgeschwindigkeit proportional, die auf das Hindernis gerichtet ist. Der genaue Zusammenhang muss durch Eichungen etabliert werden. An sich wäre für eine solche Messung jedes Strömungshindernis geeignet. Der Wunsch nach wiederholter Verwendbarkeit und Handlichkeit führte aber zur Entwicklung verschiedener Geräte. Man unterscheidet zwischen hydraulischen Waagen und hydraulischen Pendeln.

Bei einer hydraulischen Waage wird als Staukörper meist eine kleine Platte senkrecht zur Strömung eingetaucht. Sie ist mit einer über dem Wasserspiegel angeordneten Waage derart verbunden, dass der Strömungswiderstand dort als Gewicht gemessen werden kann. Eine der ersten Ausführungen stammt von Santorio Santorio (1561–1630) um 1610. Alternativen dazu wurden im 18. Jahrhundert von Leonardo Ximenes (1716–1786), Christiaan Brunnings (1736–1805) sowie anderen entwickelt und ihrem Prinzip entsprechend etwa als hydraulische Dynamometer bezeichnet.

Schon Castelli hatte 1624 vorgeschlagen, die Strömungskraft mit einem hydraulischen Pendel zu bestimmen. Ein solches besteht

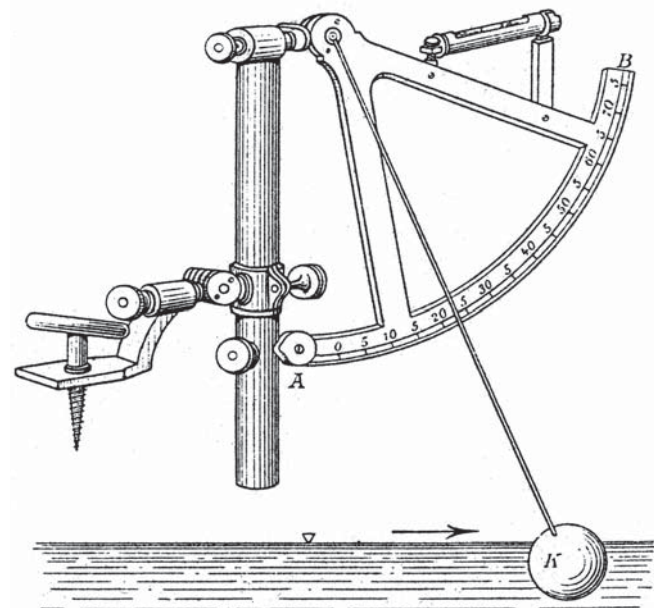
aus einer Pendelschnur und einer Kugel als Pendelgewicht, das ins Wasser eingetaucht wird. Gemessen wird die Auslenkung der Pendelschnur an der oberhalb des Wasserspiegels angeordneten Aufhängung. Mittels Eichungen bringt man diese Auslenkung direkt mit der Fließgeschwindigkeit vor der Kugel in Verbindung. Ein bekannter Prototyp wurde von Francesco Michelotti (1710–1777) entwickelt. Ein späteres Beispiel zeigt Abbildung 3.

Misst man mit solchen Geräten außer der Oberflächengeschwindigkeit auch Werte in tieferen Strömungsschichten, taucht ein Teil der Pendelschnur – oder bei hydraulischen Waagen ein Teil der beweglichen Aufhängung – ebenfalls in die Strömung. Das verfälscht natürlich die Messung. Entsprechend wurden hydraulische Waagen mit einer weniger störenden Aufhängung erfunden. Zu erwähnen ist der handliche Tauchstab von Jens, der vor wenigen Jahrzehnten in der

Praxis Eingang fand. Bei den hydraulischen Pendeln können die kugelförmigen Pendelgewichte ins Schwingen geraten, was die Ablesung der Auslenkung erschwert. Dennoch hielten sich die hydraulischen Pendel unter der Bezeichnung Stromquadranten bis anfangs des 20. Jahrhunderts.

7 Druck statt Kraftmessung

Statt den Strömungswiderstand eines Staukörpers als Ganzes zu erfassen, kann man sich auf die Messung des Staudrucks beschränken. Dies geschieht am Staupunkt des Staukörpers. Die

**Abbildung 3**

Strompendel oder Stromquadrant von Max von Bauernfeind (1818–1894) (aus JASMUND 1911)

Hydrometric pendulum by Bauernfeind



Abbildung 4

Geschwindigkeitsmessung mit einem Pitot-Rohr; verbesserte Version von Philbert Gaspard Darcy (1803–1858) (aus *Recherches Hydrauliques ... entreprises par M.H. Darcy et continuées par M.H. Bazin*, Dunod, Paris 1865, planche IV)

Measurement of velocity with a Pitot-Tube; improved version by Darcy

Differenz zwischen dem Staudruck und dem Umgebungsdruck (statischer Druck) korreliert dann mit dem Quadrat der Fließgeschwindigkeit.

Als Druckmessgeräte wurden schon früh sogenannte hydraulische Rohre verwendet. Eines der bekanntesten und verblüffend einfachen Geräte ist das 1732 von Henry de Pitot (1695–1771) in Vorschlag gebrachte. Die zugehörige Publikation trägt den Titel „Description d’une machine pour mesurer la vitesse des eaux courantes et le sillage des vaisseaux“ (Beschreibung einer Maschine zur Messung der Geschwindigkeit der Fließgewässer und der Relativgeschwindigkeit der Schiffe). Diese „Maschine“ bestand im Wesentlichen aus zwei parallelen und an einem schlanken Stab befestigten Rohren. Das eine Rohr war einfach ein gerades Standrohr, das andere war unten um 90 Grad gegen die Strömung abgekrümmt. Tauchte man den unteren Teil beider Rohre ein, stieg das Wasser in ihnen auf eine unterschiedliche Höhe. Dabei entsprach der Unterschied dem Staudruck in Längeneinheiten Wassersäule. Damit der Unterschied gut gemessen werden konnte, war am Stab ein Maßstab angebracht; um die Ablesung zu erleichtern, ließen sich die Rohre mit Haken schließen und aus dem Wasser ziehen.

Aus dem erwähnten Unterschied schloss Pitot rein rechnerisch auf die gesuchte Fließgeschwindigkeit, benutzte aber eine falsche Formel (ROSE & INCE 1980). Den richtigen theoretischen Zusammenhang etablierte erst Johann Bernoulli (1667–1748), als er 1743 das Theorem veröffentlichte, das gemeinhin seinem Sohn Daniel Bernoulli (1700–1782) zugeschrieben wird (VISCHER 1987a). Den effektiven Zusammenhang müssen letztlich Eichmessungen liefern. Andere hydraulische Rohre beruhten auf dem gleichen Prinzip, waren aber mit empfindlicheren Druck-

messern (Manometern) versehen (Abb. 4). Heute werden solche Geräte allgemein als Pitot-Rohre bezeichnet.

8 Der Einsatz von Rotoren

Im Zeitalter der starken Ausbreitung der Wassermühlen schien es naheliegend, ein leer drehendes, kleines Wasserrad als Geschwindigkeitsmesser zu verwenden. Gemessen wurde dessen Drehzahl, die zur Schaufelgeschwindigkeit proportional ist. Erste Vorschläge dazu wurden 1724 von Jacob Leupold (1674–1727) in seinem Werk „Theatrum machinarum generale“ (generelle Vorstellung der Maschinen) dargestellt (LEVI 1995). Für die Drehzahlmessung bestimmte er unter anderem die Länge eines Fadens, der während einer gewissen Zeit auf der verlängerten Achse aufgewickelt wurde. Mit solchen Geräten ließ sich natürlich nur die Oberflächengeschwindigkeit im Bereich der benetzten Schaufeln messen. Man suchte deshalb nach Rotoren, die ganz ins Wasser tauchten.

Bereits im Abschnitt 7 wurde angedeutet, dass sich das Pitot-Rohr auch für die Erhebung von Schiffsgeschwindigkeiten eignet. Es erstaunt deshalb nicht, dass versucht wurde, andere Geschwindigkeitsmesser ebenfalls auf diesen Zweck auszurichten. Das galt insbesondere für Rotoren. Entsprechend schlug 1683 Robert Hooke (1635–1703) vor, ein den Windmühlen nachempfundenes Gerät zur Messung der Schiffgeschwindigkeit einzusetzen. Es scheint aber, dass er das Problem der Drehzahlmessung nicht zu lösen vermochte (LEVI 1995). Das sogenannte Patentlog, das aus einem Schraubenflügel mit Zählwerk besteht und von einem Schiff kurzzeitig an einer Leine nachgezogen wird, wurde erst ab 1884 verfügbar (VISCHER 1996).

Den Durchbruch bei der Messung der Fließgeschwindigkeit erzielte Reinhard Woltman (1757–1837). Er ging nicht von einer Windmühle aus, aber von einem seit etwa 1750 existierenden horizontalachsigen Windmesser. Auf dessen Achse drehte eine Schnecke mit, die in ein Zahnrad griff und über dieses bei jeder sechsten oder zwölften Umdrehung des Windmessers ein Glöcklein erklingen ließ. Ein solches akustisches Signal konnte im Wasser natürlich nicht ohne weiteres verwendet werden. Deshalb wandelte Woltman das Zahnrad gleichsam in eine Messscheibe um, die nur während einer gewissen Zeit von der Schnecke angetrieben wurde. Die Zeit ließ sich vom Beobachter durch einen Schnurzug entlang der Halterung des Gerätes vorgeben (VISCHER 1987).

Woltman baute seinen Rotor 1786 und stellte ihn 1790 der Fachwelt in einer Schrift vor, die den Titel trägt: „Theorie und Gebrauch des hydrometrischen Flügels, oder eine zuverlässige Methode, die Geschwindigkeit der Winde und strömenden Gewässer zu beobachten“ (Abb. 5). Einer der ersten gewichtigen

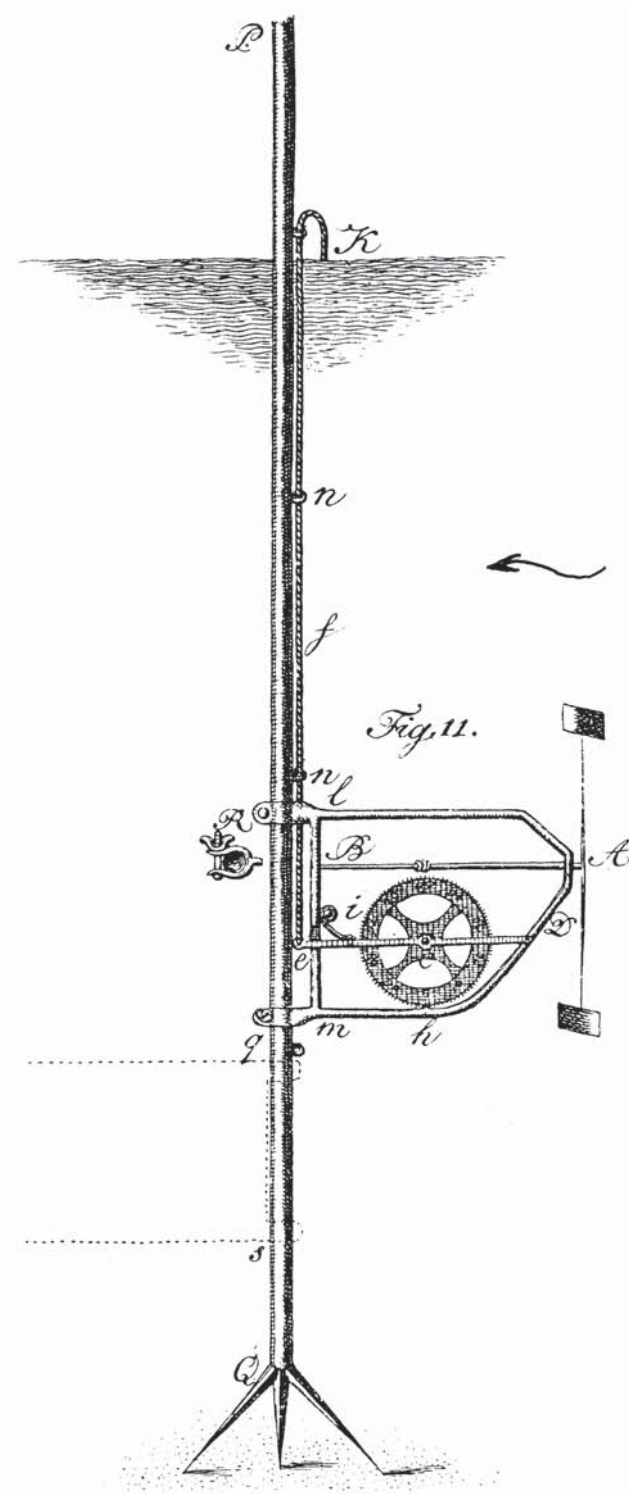


Abbildung 5
Woltmanflügel von 1786 (Zeichnung von Woltman 1790)
Woltman Spinner of 1786

Anwender war Johann Gottfried Tulla (1770–1828), der den Rotor 1801 in Karlsruhe nachbaute und dann einsetzte, so auch 1807 bei seinen Vorbereitungsarbeiten für die Linthkorrektur in der Schweiz.

Als Alternativen zum horizontalachsigen Woltmanflügel wurden später noch vertikalachsige Rotoren entwickelt, wie etwa das Price-Becher-Rad, das im angelsächsischen Raum, vor allem in Nordamerika, Verbreitung fand, sowie der Savonius-Rotor für die Erhebung von See- und Meeresströmungen.

9 Der Siegeszug des Woltmanflügels

Der Woltmanflügel wurde im 20. Jahrhundert – zumindest auf dem europäischen Kontinent – zum vorherrschenden Fließgeschwindigkeitsmesser. Bis es so weit war, galt es aber zwei Probleme zu lösen, jenes der Eichung und jenes der Drehzahlmessung.

Wie schon Leupold nahm auch Woltman zunächst an, dass die Schaufeln oder Flügel der Rotoren schlupflos dem strömenden Wasser folgen. Dann wurde er gewahr, dass jeder Rotor durch die Lagerreibung und das Zählwerk gebremst wird. Deshalb führte er Eichungen durch, indem er sein Gerät über eine genau abgemessene Länge durch völlig ruhendes Wasser führte. Seiner Beschreibung entsprechend ging er jeweils neben einem 100 Fuß langen Kanal einher, hielt seinen Rotor ins Wasser und zählte die Umdrehungen. Diese Zahl hing nach ihm praktisch nicht von seiner Marschgeschwindigkeit ab.

Immerhin stellte sich die Frage, ob eine Eichung in stehendem Wasser taugliche Ergebnisse für fließendes Wasser abgebe. Interessant ist diesbezüglich ein Bericht von Marc Thury (1822–1905), der 1853 Abflussmessungen in der Rhone bei Genf durchführte. Er verwendete dafür, wie er schreibt, den „Woltmanflügel, der von allen Geräten, die unter der Wasseroberfläche in verschiedenen Tiefen funktionieren, die genauesten Ergebnisse liefert“. Und er eichte diesen Flügel, indem er ihn am Bug eines kleinen Genfersee-Dampfers befestigte und damit eine Strecke von 500 m abfuhr. Doch traute er den Ergebnissen im stehenden Wasser nicht ganz, so dass er sich lieber auf eine Eichung mittels Schwimmern in einem durchflossenen Kanal verließ (LAMBERT 1988).

Erst um 1890 wurden für die Eichung von Fließgeschwindigkeitsmessern spezifische Schleppkanäle gebaut, so schon 1894 an der Technischen Universität München. Über das still stehende Wasser fährt dort jeweils mit vorgegebener Geschwindigkeit ein Wagen, der das eingetauchte Gerät mitschleppt (Abb. 6).

Beim Woltmanflügel in seiner ursprünglichen Form musste das Gerät nach jeder Messung aus dem Wasser gezogen werden, um die Anzahl Umdrehungen an der Messscheibe abzulesen. Dieser Nachteil wurde in den 1870er Jahren behoben, als von Andreas Harlacher (1842–1890), Jakob Amsler-Laffon (1833–1912), Albert Ott (1847–1895) und anderen ein elektrisches Zählwerk entwickelt wurde. Weitere Fortschritte brachten eine hydrodynamischere Gestaltung des Rotors und seiner Halterung, die Ergänzung des Stangenflügels durch den Schwimmflügel und die Einsatzmöglichkeit des Geräts von einer kleinen, über den Fluss gespannten Seilkrananlage aus (PEDROLI 1959) (s. Abb. 7).



Abbildung 6
Der Schleppkanal der Landeshydrologie in Bern, gebaut 1896. Eichung eines Messflügels durch Josef Epper (1855-1924) (Bild Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt, Bern)
The towing tank of the Swiss Hydrological Service, built in 1896. Calibration of a hydrometric spinner by Josef Epper

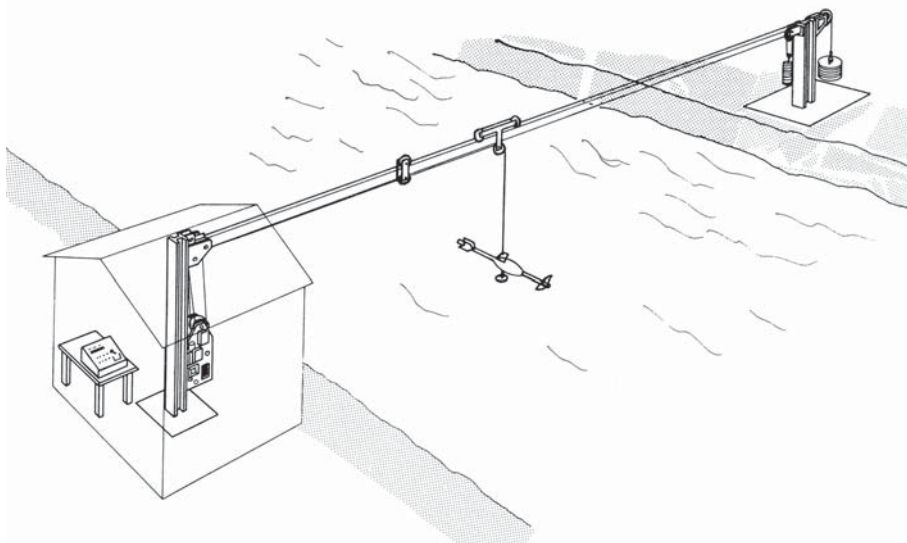


Abbildung 7
Einsatz eines modernen Woltmanflügels mit einer Seilkrananlage (aus BRAND 1990)
Application of a modern Woltman Spinner with a cableway

10 Die „internationale Rheinstrommessung bei Basel“ von 1867

Einen großen Widerhall in Fachkreisen erzeugten Vergleichsmessungen, die von den Staaten Baden, Bayern, Frankreich und der Schweiz im November 1867 am Rhein in Basel durchgeführt wurden. Sie dauerten 7 Tage. Im Wettbewerb standen vier Woltmanflügel, drei Pitot-Rohre, zwei Typen von Oberflächenschwimmern und Stabschwimmern, hingegen keine Stromquadranten und andere Hydrodynamometer. Bei den Woltmanflügeln und Pitot-Rohren handelte es sich nicht um die ursprünglichen Prototypen, sondern um Weiterentwicklungen,

wie sie damals in Gebrauch standen. Das Ergebnis wurde 1873 veröffentlicht und mündete in der Feststellung aus, dass Woltmanflügel und Pitot-Rohre zuverlässigere Werte liefern als Schwimmer (GREBENAU 1873; KÖLLA 1988).

11 Tracermessungen

Von den vielen für die Hydrometrie vorgeschlagenen Fließgeschwindigkeitsmessern werden hier nur die wichtigsten erwähnt. In gewissen Fließgewässern können diese Geräte aber nicht oder nur schlecht eingesetzt werden, etwa bei breiten und wenig tiefen oder bei verkrauteten Flüssen sowie in schäumenden, blockdurchsetzten Wildbächen. Entweder baut man in solchen Gewässern kurze Messkanäle ein, wo die Verwendung beispielsweise eines Woltmanflügels möglich ist, oder man bedient sich einer grundsätzlich anderen Abflussmessmethode.

Eine solche Alternative bietet die Salzverdünnungsmethode, die in den Anfängen als Titrationsmethode bezeichnet wurde. Ihre Einführung wird gewöhnlich Anthelme Boucher (1856–1936) zugeschrieben, der darüber 1910 publizierte (BOUCHER 1910). Es gibt aber noch ältere Hinweise darauf. Die ersten genauen Vergleichsmessungen in einem Fließgewässer stammen offenbar von Léon-William Collet (1880–1957). Die damals übliche Methode der konstanten Einspritzung bestand darin, dem Gewässer eine Salzlösung beizugeben. Diese breitet sich stromabwärts aus und durchsetzt schließlich den gesamten Abfluss gleichmäßig. Dabei wird so lange eingespritzt, bis unterhalb der Mischstrecke während einer kurzen Zeit stationäre Verhältnisse herrschen. In dieser Zeit entnimmt man dort Wasserproben und bestimmt die Salzkonzentration. Dann ergibt sich der Betrag des Abflusses aus der Verdün-

nung, die sich aus der Salzbilanz zwischen der Einspritz- und der Entnahmestelle pro Zeiteinheit ermitteln lässt (COLLET et al. 1913). Bald wurde diese Verdünnung auch mit der Einspritzung von Farbe statt Salz bestimmt (ESTERER 1937). Eine moderne Weiterentwicklung besteht in der Verwendung von Fluoreszenzfarbstoffen und im Einsatz von Fluorometern.

Heute verwendet man bei Wildbächen eine einfachere Variante, bei der auf die Schaffung stationärer Verhältnisse verzichtet wird. Der neueste Stand der Tracermessungen wird bei LEIBUNDGUT et al. (2009) festgehalten.

12 Laufende Abflussmessungen und Ultraschall-Geschwindigkeitsmessungen

Die bisher beschriebenen Methoden für Fließgeschwindigkeitsmessungen eignen sich nicht für einen laufenden Einsatz. Sie werden benutzt, um die Abflusskurve, das heisst den Zusammenhang zwischen dem Pegelstand und dem Abfluss, zu etablieren. Diese Kurve wird entsprechend als Pegelrelation oder Pegelschlüsselkurve bezeichnet. Ist sie eindeutig, kann der Abfluss jederzeit anhand des Pegelstands bestimmt werden. Für solche Pegelmessungen gibt es denn auch zahlreiche Geräte, die intermittierend oder kontinuierlich arbeiten können. Doch soll hier aus Platzgründen nicht darauf eingegangen werden. Eine gute Übersicht vermittelt WYDER (1996, 1998).

Eine permanente Abflussmessstelle installiert man deshalb möglichst an einem Ort, wo die Abflusskurve eindeutig ist. Folglich meidet man Stellen, wo sich der Querschnitt des Fließgewässers wegen Erosions- und Auflandungserscheinungen rasch verändert, wo ein Wassersprung entsteht und wo sich ein Rückstau von einem Vorfluter oder einem Regulierwehr bemerkbar macht oder das Wasser gar rückwärts fließen kann (beispielsweise im Tidebereich einer Flussmündung am Meer). Gelingt das nicht, muss die Abflussmessstelle außer mit einer laufenden Pegelmessung noch mit einer laufenden Geschwindigkeitsmessung ausgerüstet werden. In diesem Zusammenhang wurden seit etwa 1970 Ultraschall-Geschwindigkeitsmesser entwickelt, die sich in Flüssen einsetzen lassen.

An den beiden benetzten Flussufern werden um rund 45 Grad versetzte Sender und Empfänger von Ultraschallimpulsen angeordnet. Infolge des sogenannten Mitführeffekts unterscheidet sich die Laufzeit eines Impulses in Strömungsrichtung von jener eines Impulses in Gegenrichtung. Die zugehörige Differenz der Impulsgeschwindigkeiten ist zur Fließgeschwindigkeit im Bereich der Impulswege proportional. Um von dieser Fließgeschwindigkeit auf die mittlere Geschwindigkeit im Flussquerschnitt zu

schließen, braucht es Eichmessungen, beispielsweise mit dem Woltmanflügel (SIGRIST 1988). Heute lässt sich diese Relation aber auch mit numerischen Strömungsmodellen errechnen.

Einfache Anlagen sind bloß mit zwei Geräten ausgerüstet, die auf gleicher Meereshöhe liegen. Bessere Ergebnisse lassen sich natürlich mit weiteren Gerätepaaren auf anderen Höhen erzielen (Mehrebenenanlagen).

13 Elektromagnetische Sonden

Mit Blick auf Kontinentaleuropa lässt sich sagen, dass das 20. Jahrhundert dem Woltmanflügel gehörte. Dieser wurde laufend verfeinert; ebenso wurde seine Eichung ständig verbessert (BRAND 1992). Erst am Ende des 20. Jahrhunderts wurden andere Geräte praktikabel. Zu ihnen gehörten die magnetisch induktiven Sonden, wie sie Ott-Messtechnik 1990 (Abb. 8) und Marsh-McBirney 1991 auf den Markt brachten.

Ihr Messprinzip beruht auf dem Faradayschen Induktionsgesetz, das besagt, dass die Bewegung eines Leiters durch ein Magnetfeld eine Spannung induziert. Als Leiter dient das Wasser, das um die den Magneten enthaltende Sonde strömt und dessen Geschwindigkeit proportional zur Spannung ist. Daher lässt sich diese Geschwindigkeit mit einer Spannungsmessung bestimmen. Der Vorteil besteht darin, dass die Sonde keine beweglichen Teile enthält und deshalb auch in stark verschmutztem, oder gar verkrautetem Wasser einsetzbar ist. Zudem ist sie handlicher als der Woltmanflügel und erlaubt die Erfassung von kleineren Geschwindigkeiten. Über frühe Testfahrten im Schleppkanal und Vergleiche mit den Ergebnissen eines Woltmanflügels berichtet HODEL (1996).

14 Die Partikel-Tachometrie

Dank der Entwicklung verschiedenster Sensoren und den Fortschritten in der Zeitmessung hielt am Ende des 20. Jahrhunderts die Partikel-Tachometrie in der Hydrometrie Einzug. Als beson-

ders interessant erweist sich eine verfeinerte Art der Schwimmer- und Driftkörpermessung mittels digitaler Bildverarbeitung. Eine über der Wasseroberfläche fixierte Kamera nimmt die schwimmenden Luftblasen, Blätter und anderes Treibzeug in enger Bildfolge auf. Dabei ermittelt ein Microprozessor praktisch gleichzeitig die lokale Geschwindigkeit dieser Objekte nach Betrag und Richtung. Da man bei kleinen Objekten Schlupflosigkeit voraussetzen darf, lässt sich auf diese Weise die Oberflächengeschwindigkeit des Wassers bestimmen. Dann allerdings ist man gleich weit wie bei allen Schwimmermessungen: Man muss die Beziehung zwischen der Oberflächengeschwindigkeit und der mittleren Geschwindigkeit im zugehörigen Gerinnequerschnitt kennen! Für die Übertragung stehen heute aber numerische Abflussmodelle zur Verfügung, die ausgehend von der Oberflächengeschwindigkeit eine Berechnung der Geschwindigkeits-



Abbildung 8

Elektromagnetische Sonde Nautilus der Firma Ott Messtechnik (Bild Abteilung Hydrologie, Bundesamt für Umwelt, Bern 1996)

Electromagnetic flow meter Nautilus of Ott Instruments

verteilung und damit letztlich des Abflusses gestatten. Selbstverständlich wird man diese Art von Partikel-Tachometrie auf einer Gewässerstrecke anwenden, wo die numerischen Abflussmodelle besonders wirklichkeitsnahe Resultate liefern. Eine bereits in den 1990er Jahren kommerziell genutzte Technik beschreibt SKRIPALLE (1996).

Ein faszinierendes Gerät, das direkt das Geschwindigkeitsprofil der Strömung misst, ist der ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler). Sein Sensor hängt gemäß Abbildung 9 unter einem Boot, ist also im Wasser eingetaucht. Das Messprinzip beruht auf dem Dopplereffekt des Ultraschalls, der von im Wasser treibenden Partikeln oder anderen Inhomogenitäten reflektiert wird. Nach Aussendung eines Ultraschallimpulses werden vom Empfänger in vorgegebenen Zeitabständen Empfangsfenster geöffnet. Dadurch werden nur Echos von ganz bestimmten kleinen Wasservolumina erfasst, die auf die Geschwindigkeitskomponente der zugehörigen Partikel in Richtung der Impulskeule schließen lassen. Diese Geschwindigkeitskomponente wird mit den in den anderen drei Impulskeulen gleichzeitig erhobenen Geschwindigkeitskomponenten benutzt, um die interessierende Geschwindigkeit der Partikel in Fließrichtung zu ermitteln (VISCHER & HÄCHLER 1993).

Das Messboot fährt während der Messung von einem Flussufer zum anderen. Es braucht dabei weder eine bestimmte Richtung noch Geschwindigkeit einzuhalten. Denn die Orientierung der Messwerte wird laufend durch einen Kompass besorgt und die Bootsgeschwindigkeit über Grund im Messsystem berücksichtigt; ebenso werden das allfällige Krängen, Stampfen und Rollen des Boots automatisch ausgeglichen. Allerdings kann der ADCP nicht das ganze Profil abtasten. Es gibt auf der Wasseroberfläche sowie auf dem Grund und an den Ufern eine Schicht, die gleichsam im Messschatten bleibt. Dieser Mangel wird durch Extrapolationen aus den Zonen außerhalb des Messschattens wettgemacht. Weitere Schwierigkeiten verursacht eine infolge Geschlechtsbewegliche Sohle.

Die ersten umfassenden Testversuche auf dem europäischen Kontinent führte 1992 die (deutsche) Bundesanstalt für Gewässerkunde durch und berichtete darüber (ADLER 1993). Zum Einsatz gelangte ein Gerät der amerikanischen Firma Teledyne RD Instruments. Seitdem sind auch Geräte von anderen Firmen erhältlich. Anzufügen bleibt noch, dass sich anstelle eines bemannten Boots ein unbemanntes, das heißt ein ferngesteuertes, verwenden lässt. Ferner besteht die Möglichkeit, den Sensor auch von einer Brücke oder einer Seilbahn aus durch das Wasser zu bewegen. Eine neuere Übersicht über den Stand der ADCP-Messungen vermittelt FIEDLER (2008).

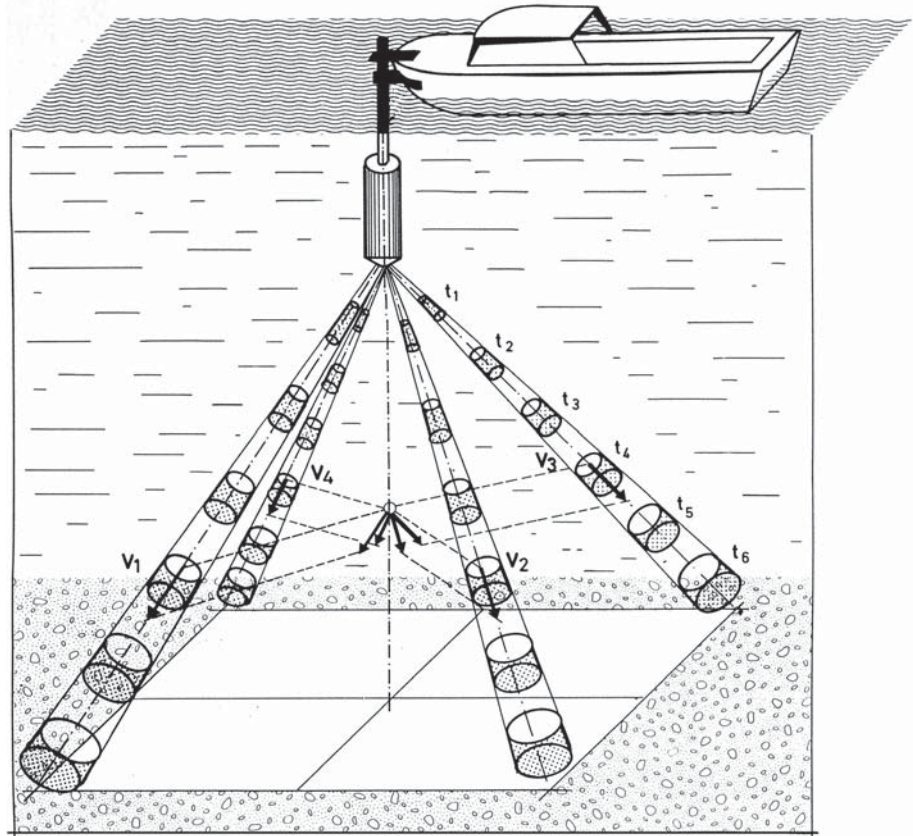


Abbildung 9

Einsatz eines Ultraschall-Doppler-Geräts mit Boot. Der 0,5 m hohe Sensor ist überproportional groß dargestellt. Das Schema der Ultraschallkeulen deutet die Unterteilung der Wassermassen in Schichten an sowie die Art der Geschwindigkeitsermittlung (aus VISCHER & HÄCHLER 1993).

Application of an Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) with a boat. The instrument is 0.5 m high (shown here in exaggerated proportions). The sketch of the ultrasonic beams explains how the water column is split into layers and how the current velocity is composed.

15 Zusammenfassung

Am Anfang der Geschichte der Fließgeschwindigkeitsmessung stand die Beobachtung eines treibenden Blattes oder eines künstlichen Schwimmers auf einer bestimmten Fließstrecke. Man kann diese Methode als Partikel-Tachometrie bezeichnen. Dann wurden andere Methoden bevorzugt. Doch rückt heute die Partikel-Tachometrie wieder in den Vordergrund. Freilich erlaubt die erfolgreiche Entwicklung der Zeitmessung und von verschiedensten Sensoren ein viel subtileres Vorgehen. Dementsprechend sind auch die Messergebnisse genauer. Es ist aber vertretbar, die Entwicklung der Fließgeschwindigkeitsmesser seit der Renaissance als Zyklus zu charakterisieren: „Vom treibenden Blatt zum Messflügel und wieder zurück!“

Summary

The history of flow-velocity measurements began with the observation of a drifting leaf or a float. This method was already a kind of particle velocimetry. Then other methods prevailed. However today, particle velocimetry comes to the fore again. Of course, the long and successful development of time measurement and of great variety of sensors allows a more subtle procedure. And accordingly the results are by far more accurate. It seems nevertheless justified to characterize the development of current-meters since the Renaissance as a cycle „from the drifting leaf to the hydrometric spinner and back again!“

Anschrift des Verfassers:

Prof. Dr.Ing. Dr.h.c. D.L.Vischer
 Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie
 Eidgenössische Technische Hochschule (ETH)
 CH-8092 Zürich
 vischer@vaw.baug.ethz.ch

Literaturverzeichnis

- ADLER, M. (1993): Messung von Durchflüssen und Strömungsprofilen mit einem Ultraschall-Doppler-Gerät (ADCP). – *Wasserwirtschaft* 83, H. 4, S.192–196
- BISWAS, A.K. (1970): *History of Hydrology*. – North-Holland Publishing Company, Amsterdam-London, S. 144–146
- BOUCHER, A. (1910): Jaugeages par titrations. – *Bulletin technique de la Suisse romande* No.11, Lausanne, S. 123–125 (im selben Bulletin auch Mellet, R.: Application de la titration des chlorures au jaugeage de débits, S. 125–128)
- BRAND, F.L. (1990): 200 Jahre hydrometrische Flügel – immer noch ein modernes Messinstrument. – *Wasserwirtschaft* 80, H. 11, S. 572–579
- BRAND, F.L. (1992): Wassermessung mit dem Woltmanflügel. – *Technikgeschichte (VDI)*, Bd. 59, H. 2, S. 133–155
- COLLET, L.W., R. MELLET & O. LÜTSCHG (1913): Jaugeages par titrations et essais comparatifs... *Communications du service de l'hydrographie nationale*, no.1, Rösch und Schatzmann, Bern, 24 S.
- DOOGE, J.C. (1987): Historical development of concepts in open channel flow. – In: Garbrecht, G.: *Hydraulics and hydraulic research, a historical review*. – A.A. Balkema, Rotterdam/Boston, S. 205–230
- ESTERER, B. (1937): Das Farbverdünnungsverfahren für Wassermessungen. – *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* 32, H. 10/11, S. 129–133 und H. 12, S. 149–151
- FIEDLER, K. (2008): Erfassung hydromorphologischer Vorgänge bei Hochwasser mit Hilfe von ADCP-Messungen. – *Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität München*, Nr. 120, 180 S.
- GREBENAU, H. (1873): Die internationale Rheinstrom-Messung bei Basel. Ein Beitrag zur Theorie und Praxis der Wassermessungen an größeren Flüssen. – J. Lindauer, München, 85 S.
- HODEL, H.P. (1996): Vergleichsmessungen mit elektromagnetischen Geschwindigkeitssonden. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 100 Jahre Eichstätte für hydrometrische Flügel*. Hydrologische Mitteilung Nr. 24, Bern, S. 91–113
- JASMUND, R. (1911): Hydrometrische Ermittlungen. – In: Buben-dey et al.: *Der Wasserbau*, Bd.1. – Wilhelm Engelmann, Leipzig, S. 391–473
- KÖLLA, E. (1988): Die internationale Rheinstrommessung bei Basel, vorgenommen am 6.-13. November 1867. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz*. Mitt. der Landeshydrologie Nr. 9, Bern, S. 109–122
- LAMBERT, A. (1988): Jaugeages du Rhône à Genève précédant la régularisation du Léman, réalisée en 1886. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz*. Mitt. der Landeshydrologie Nr. 9, Bern, S. 163–174
- LEIBUNDGUT, Chr., P. MALOZSZEWSKI & Chr. KÜLLS (2009): *Tracers in Hydrology*. – J. Wiley u. Sons, Oxford etc., 482 S.
- LEVI, E. (1995): *The Science of Water; the Foundation of Modern Hydraulics*. – ASCE Press, New York, S. 151–162
- PEDROLI, R. (1959): Seilflügelanlagen für die Vornahme von Wassermessungen. – *Wasser- und Energiewirtschaft* 51, Nr. 3, (Schweiz), S. 58–64
- ROSE, H. & S. INCE (1980): *History of Hydraulics*. – University of Iowa, Iowa, 269 S.
- SIGRIST, B. (1988): Entwicklung der Messgeräte; Pegel- und Abflussmessung. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 125 Jahre Hydrometrie in der Schweiz*. Mitt. der Landeshydrologie Nr. 9, Bern, S. 25–35
- SKRIPALLE, J. (1996): Messung der Oberflächengeschwindigkeit mit Hilfe digitaler Bildverarbeitung. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 100 Jahre Eichstätte für hydrometrische Flügel*. Hydrologische Mitteilung Nr. 24, Bern, S. 115–121
- UNESCO, WMO, IAHS (1974): *Three centuries of scientific hydrology*. – Beugnet, Paris, 123 S.
- VISCHER, D. (1987): Reinhard Woltman zum 150. Todestag. – *Wasser, Energie, Luft* 79, H. 3/4, (Schweiz), S. 54–56
- VISCHER, D. (1987a): Daniel Bernoulli and Leonhard Euler; the advent of hydromechanics. – In: Garbrecht, G.: *Hydraulics and hydraulic research, a historical review*. – A.A. Balkema, Rotterdam/Boston, S. 145–156
- VISCHER, D. (1996): Vom treibenden Blatt zum Messflügel. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 100 Jahre Eichstätte für hydrometrische Flügel*. Hydrologische Mitteilung Nr. 24, Bern, S. 23–28
- VISCHER, D. & H.-P. HÄCHLER (1993): Ein Durchbruch in der Abflussmessung? – *Wasser, Energie, Luft* 85, H. 7/8, (Schweiz), S. 137–139
- WYDER, D. (1996): Pegelmessgeräte und -verfahren. – In: *Landeshydrologie und -geologie: 100 Jahre Eichstätte für hydrometrische Flügel*. Hydrologische Mitteilung Nr. 24, Bern, S. 123–133
- WYDER, D. (1998): *Handbuch der Pegelmessung*. – *Landeshydrologie und -geologie*, Hydrologische Mitteilung Nr. 26, Bern, 77 S.

UN Wasserforum

Wasser und Sanitärversorgung als Menschenrechte Water and Sanitation as Human Rights

Im Rahmen der Vereinten Nationen gewinnen Wasser und Sanitärversorgung zunehmend auch im menschenrechtlichen Kontext an Bedeutung. Dieser Beitrag möchte die aktuellen Entwicklungen nachzeichnen und einen kurzen Überblick über die Menschenrechte auf Wasser und Sanitärversorgung geben.

Aktuelle Entwicklungen im Rahmen der Vereinten Nationen

Als Ausgangspunkt für die aktuellen Entwicklungen im Bereich der Vereinten Nationen bietet sich der General Comment No. 15 des Ausschusses für wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte an. Der Ausschuss ist das Gremium, das mit der Überwachung der Umsetzung des Internationalen Pakts über wirtschaftliche, soziale und kulturelle Rechte (Sozialpakt) betraut ist. Dieser Pakt ist die primäre internationale Rechtsquelle im Bereich der wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Rechte. Ihm gehören momentan 160 Vertragsstaaten an. 2002 hat der Ausschuss sich mit dem Recht auf Wasser befasst und einen General Comment dazu herausgegeben, in dem der Inhalt des Rechts auf Wasser und die staatlichen Verpflichtungen zu dessen Umsetzung näher bestimmt werden (s. dazu weiter unten). Der General Comment ist zwar nicht rechtsverbindlich, doch kommt ihm eine entscheidende Bedeutung zu, da der Ausschuss das Gremium ist, das zur autoritativen Interpretation des Sozialpakts befugt ist.

In der Folge hat es im Zuge einer deutsch-spanischen Initiative im Menschenrechtsrat weitere Entwicklungen zu den Rechten auf Wasser und Sanitärversorgung gegeben. Im Rahmen dieser Initiative hat die Menschenrechts-Hochkommissarin der Vereinten Nationen eine Studie erstellt.¹ Während General Comment No. 15 Sanitärversorgung nur am Rande berührt, ist diese im Rahmen der Studie explizit eingeschlossen. Diese kommt zu dem Schluss, dass es an der Zeit sei, Wasser und Sanitärversorgung als Menschenrecht anzuerkennen. Außerdem zeigt die Studie bestimmte Bereiche auf, die weiter zu untersuchen seien, so etwa die Bestimmung der menschenrechtlichen Verpflichtungen im Bereich der Sanitärversorgung, im Kontext der Beteiligung des Privatsektors an der Wasser- und Sanitärversorgung sowie im Zusammenhang mit der Unterbrechung des Zugangs zur Wasserversorgung.

Unter anderem um diese Arbeit voranzutreiben, hat der Menschenrechtsrat der Vereinten Nationen im März 2008 das Mandat der *Unabhängigen Expertin zum Thema der menschenrechtlichen Verpflichtungen bezogen auf Zugang zu sicherem Trinkwasser und Sanitärversorgung* durch die Resolution 7/22² geschaffen. Catarina de Albuquerque wurde im September 2008 als Unabhängige Expertin ernannt und hat im November 2008 ihre Arbeit aufgenommen.

Ihr Mandat wird durch die Resolution des Menschenrechtsrats bestimmt und umfasst folgende Bereiche:

1. ‚Good Practices‘ bezogen auf den Zugang zu sicherem Trinkwasser und Sanitärversorgung zu ermitteln, zu fördern, einen Austausch darüber zu ermöglichen und ein Kompendium dieser ‚Good Practices‘ zu erstellen
2. die menschenrechtlichen Verpflichtungen bezogen auf Wasser und Sanitärversorgung näher zu bestimmen und eine Studie dazu zu erstellen
3. Empfehlungen zur Verwirklichung der Millenniumentwicklungsziele, insbesondere Ziel 7, zu formulieren.

In der Festlegung der inhaltlichen Schwerpunkte lässt sich die Unabhängige Expertin von den Themen leiten, die in der Studie des Hochkommissariats aufgezeigt worden sind. So hat sie sich im ersten Jahr ihres Mandats schwerpunktmäßig mit Sanitärversorgung befasst. Ein weiterer Grund hierfür war, dass Sanitärversorgung – auch in menschenrechtlicher Hinsicht – bisher nicht die gleiche Aufmerksamkeit erhalten hat wie Wasser. Das zweite Jahr widmet sie der Beteiligung des Privatsektors in der Wasser- und Sanitärversorgung.

Bezogen auf all diese Arbeitsbereiche wird die Unabhängige Expertin aufgefordert, mit allen relevanten Akteuren zu kooperieren und einen Dialog mit Regierungen, den entsprechenden Gremien der Vereinten Nationen, dem Privatsektor, Gemeinden, Nationalen Menschenrechtsinstitutionen, zivilgesellschaftlichen Organisationen und akademischen Institutionen zu entwickeln. Sie führt daher in allen Bereichen ihres Mandats umfangreiche Konsultationsprozesse durch.

Darüber hinaus besucht die Unabhängige Expertin auch einzelne Länder, um sich mit der Situation vor Ort bezüglich der Umsetzung der menschenrechtlichen Verpflichtungen vertraut zu machen – bislang Costa Rica, Ägypten und Bangladesch. 2010 plant sie einen Besuch in Slowenien und voraussichtlich in zwei weiteren Ländern.

Rechtliche Grundlage der Menschenrechte auf Wasser und Sanitärversorgung

Das Mandat der Unabhängigen Expertin bezieht sich auf die menschenrechtlichen Verpflichtungen bezogen auf Zugang zu sicherem Trinkwasser und Sanitärversorgung – nicht ausdrücklich auf die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung. Sowohl in der Resolution, mit der der Menschenrechtsrat das Mandat geschaffen hat, als auch in einer späteren Resolution³ erkennen Staaten ausdrücklich an, dass ihnen menschenrechtliche Verpflichtungen bezogen auf Wasser und Sanitärversorgung zukommen. Allerdings impliziert diese Formulierung zugleich, dass die Anerkennung von Wasser und Sanitärversorgung als Menschenrechte noch umstritten ist.

Wasser und Sanitärversorgung werden weder in der Allgemeinen Erklärung der Menschenrechte noch im Sozialpakt ausdrücklich genannt. Als diese in der Mitte des letzten Jahrhunderts entstanden sind, wurde der fehlende Zugang zu Wasser und Sanitärversorgung nicht als dringend wahrgenommen und

¹ UN Doc. A/HRC/6/3.

² UN Doc. A/HRC/RES/7/22.

³ UN Doc. A/HRC/RES/12/8.

das tatsächliche Ausmaß der damit verbundenen Probleme unterschätzt.

Allerdings lassen sich die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung aus anderen Rechten herleiten bzw. als Teil derselben verstehen. Hier ist insbesondere das Recht auf einen angemessenen Lebensstandard zu nennen, das in Art. 11 des Sozialpakts garantiert wird. Art. 11 zählt beispielhaft Nahrung, Wohnung und Kleidung als unerlässlich für diesen auf. Diese Aufzählung ist nicht abschließend; auch Wasser und Sanitärversorgung sind für einen angemessenen Lebensstandard unverzichtbar. Weiterhin besteht ein enger Zusammenhang mit dem Recht auf Gesundheit (Art. 12 des Sozialpakts), denn der fehlende Zugang zu sauberem Wasser und zu Sanitärversorgung verursacht viele Krankheiten, ebenso mit dem Recht auf Wohnen, dem Recht auf Leben und weiteren Menschenrechten.

Der Zusammenhang zwischen dem Recht auf einen angemessenen Lebensstandard bzw. dem Recht auf Gesundheit und Wasser und Sanitärversorgung wurde durch jüngere Konventionen bekräftigt, die Wasser und Sanitärversorgung ausdrücklich in den entsprechenden Bestimmungen als Elemente nennen (vgl. Art. 14(2)(h) des Übereinkommens zur Beseitigung jeder Form von Diskriminierung der Frau und Art. 24(2)(c) der Kinderrechtskonvention). Auch die jüngste Menschenrechtskonvention über die Rechte von Menschen mit Behinderungen nennt Wasser als ein Element des Rechtes auf einen angemessenen Lebensstandard und sozialen Schutz (Art. 28(2)(a)).

Auch internationale politische Deklarationen haben die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung als solche anerkannt, so etwa das Aktionsprogramm, das auf der Konferenz zu Bevölkerung und Entwicklung 1994 in Kairo verabschiedet wurde sowie die Istanbul Habitat Agenda von 1996. Diese beiden Dokumente nennen Wasser und Sanitärversorgung wiederum als Elemente des Rechts auf einen angemessenen Lebensstandard.

Auch auf der nationalen Ebene wird das Recht auf Wasser – und in manchen Fällen auch das Recht auf Sanitärversorgung – von Staaten in ihren jeweiligen Verfassungen garantiert, so etwa in Südafrika, Uganda, Ecuador, Uruguay, der Demokratischen Republik Kongo, den Malediven und Bolivien.

Diese zahlreichen und zunehmenden Bezugnahmen – sowohl in rechtsverbindlichen internationalen Verträgen als auch in politischen Deklarationen – weisen auf die große Akzeptanz des Rechts auf Wasser hin. Zwar wurde Sanitärversorgung bislang weniger häufig als Menschenrecht anerkannt, doch zeichnet sich auch hier ein klarer Trend in diese Richtung ab.

Inhalt der Menschenrechte auf Wasser und Sanitärversorgung

Der Inhalt der Menschenrechte auf Wasser und Sanitärversorgung lässt sich durch die Kriterien der Verfügbarkeit, Qualität, Akzeptabilität, Erreichbarkeit und Bezahlbarkeit näher konkretisieren.

- **Verfügbarkeit:** Das Menschenrecht auf Wasser umfasst Wasser für den persönlichen und häuslichen Gebrauch, also etwa Wasser zum Trinken, zur Essenszubereitung, zum Putzen und Waschen und zur persönlichen Hygiene. Es ist schwierig, allgemein zu bestimmen, welche konkrete Men-

ge hierzu erforderlich ist. Menschenrechte sind Individualrechte und die jeweiligen Bedürfnisse lassen sich nur in dem jeweiligen Kontext bestimmen, unter Berücksichtigung etwa der geographischen, klimatischen und persönlichen Verhältnisse. Zum Beispiel haben schwangere und stillende Frauen einen erhöhten Wasserbedarf. Grundsätzlich geht die Weltgesundheitsorganisation davon aus, dass unter vielen Umständen 50 bis 100 l pro Person pro Tag notwendig sind, um den persönlichen und häuslichen Bedarf angemessen erfüllen zu können. Geringere Mengen können den Minimalbedarf decken, doch bleibt dann häufig ein gesundheitliches Risiko bestehen. Ebenso muss eine ausreichende Zahl an sanitären Anlagen zur Verfügung stehen, deren notwendige Anzahl wie im Rahmen der Wasser-versorgung kontextspezifisch zu ermitteln ist.

- **Qualität:** Nicht nur die Quantität, sondern auch die Qualität des Wassers ist von entscheidender Bedeutung. Wasser muss sauber sein und darf keine Gefahr für die menschliche Gesundheit darstellen. Sanitäre Anlagen müssen in hygienischer und technischer Hinsicht sicher sein. Sie müssen regelmäßig gereinigt und unter Umständen geleert werden. Um die Hygiene zu gewährleisten, ist der Zugang zu Wasser für die persönliche Hygiene und zum Händewaschen unerlässlich.
- **Akzeptabilität:** Wasser und Sanitärversorgung müssen akzeptabel sein, insbesondere in kultureller Hinsicht. Insbesondere die Sanitärversorgung ist ein sensibles Thema in vielen Regionen und Kulturen. Daher müssen kulturelle Anforderungen in Bezug auf das Design, die Anordnung, den Ort und die Bedingungen für die Errichtung und Benutzung von sanitären Einrichtungen berücksichtigt werden. In vielen Kulturen ist es erforderlich, dass die Privatsphäre geschützt wird, häufig auch, dass es separate Einrichtungen für Männer und Frauen gibt.
- **Zudem sollte Wasser – abgesehen von der Wasserqualität – von akzeptabler Farbe, Geruch und Geschmack sein, da dies einen entscheidenden Einfluss auf die tatsächliche Nutzung sicherer Wasserquellen hat.**
- **Erreichbarkeit:** Wasser und Sanitärversorgung müssen weiterhin physisch erreichbar sein. Im Hinblick auf die Wasser-versorgung hat die Entfernung bis zu dem Punkt, an dem Wasser geholt werden kann, einen entscheidenden Einfluss auf die Menge, die einer Person tatsächlich täglich zur Verfügung steht. Ist die Wasserquelle zu weit entfernt, kann nicht genügend Wasser geholt werden. Ein Zugang muss also im Haushalt oder in dessen unmittelbarer Nähe bestehen. Die Einrichtungen müssen zuverlässig sein und einen kontinuierlichen Zugang zu Wasser und Sanitärversorgung erlauben. Auch darf die Wartezeit nicht unangemessen lang sein. Wenn die Einrichtungen nicht im Haushalt sind, darf die physische Sicherheit auf dem Weg dorthin nicht gefährdet sein. Auch im Hinblick auf die Erreichbarkeit und Zugänglichkeit müssen spezielle Bedürfnisse berücksichtigt werden, etwa von Menschen mit Behinderungen, älteren Menschen oder Kindern.
- **Bezahlbarkeit:** Letztlich müssen Wasser und Sanitärversorgung auch bezahlbar sein, d.h. Menschen müssen auch in finanzieller Sicht in der Lage sein, die Einrichtungen zu nutzen. Entscheidend ist, dass Menschen andere Bedürfnisse wie Nahrung, Wohnen, Kleidung und Bildung – deren Verwirklichung durch andere Menschenrechte garantiert ist –

nicht vernachlässigen müssen, um ihre Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung zu verwirklichen.

Dies bedeutet nicht unbedingt, dass Wasser und Sanitärversorgung umsonst zur Verfügung gestellt werden müssen. Entscheidend ist vielmehr die Bezahlbarkeit und dass der Zugang zu Wasser und Sanitärversorgung ermöglicht wird. Nur wenn Menschen das nötige Einkommen fehlt, ist dennoch Wasser zur Verfügung zu stellen und die Sanitärversorgung zu gewährleisten, da die Verwirklichung dieser Rechte nicht von den finanziellen Möglichkeiten abhängig gemacht werden darf.

Wenn die Wasserversorgung aufgrund von Nichtzahlung abgestellt wird, darf dies nicht dazu führen, dass Menschen, die nicht in der Lage sind zu zahlen, keinen Zugang mehr zu Wasser haben. Zumindest muss der Zugang zu einem Minimum gewährleistet sein. Auch darf dies im Fall von Wassertoiletten nicht dazu führen, dass kein Zugang zu Sanitärversorgung mehr besteht.

Aus menschenrechtlicher Sicht sind all diese Kriterien entscheidend, um den Zugang zu Wasser und Sanitärversorgung tatsächlich zu gewährleisten. Denn allein der physische Zugang ist nicht ausreichend, wenn Menschen sich Wasser nicht leisten können. Die reine Existenz von Toiletten reicht nicht, wenn Frauen diese nicht nutzen, weil ihre Privatsphäre nicht gewährleistet ist. Und das Vorhandensein von Einrichtungen nützt nichts, wenn etwa Menschen mit Behinderungen diese nicht erreichen können.

Staatliche Verpflichtungen

Mit den Rechten auf Wasser und Sanitärversorgung korrespondieren staatliche Verpflichtungen, die darauf abzielen, die Rechte in dem genannten Umfang zu verwirklichen.

- **Achtungspflicht:** Der Staat ist verpflichtet, die Menschenrechte auf Wasser und Sanitärversorgung zu achten. So darf er bestehende Wasseranschlüsse nicht willkürlich abstellen, etwa weil Menschen ihre Wasserrechnung nicht bezahlen können.
- **Schutzpflicht:** Darüber hinaus besteht die Verpflichtung, die Menschenrechte vor Eingriffen Dritter zu schützen. Der Staat muss etwa dafür Sorge tragen, dass Menschen kein Wasser verwenden müssen, das durch andere verschmutzt worden ist. Auch im Fall der Beteiligung des Privatsektors an der Wasser- und Sanitärversorgung wird die Schutzpflicht des Staates relevant. Er muss sicherstellen, dass die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung bei der Versorgung durch Private nicht verletzt werden.
- **Erfüllungspflicht:** Letztlich ist der Staat verpflichtet, die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung zu erfüllen. Diese Erfüllungspflicht ist bei den wirtschaftlichen, sozialen und kulturellen Rechten – zu denen Wasser und Sanitärversorgung gerechnet werden – eine Pflicht zur progressiven Verwirklichung. Dies bedeutet, dass die Rechte – in dem oben beschriebenen Umfang – nicht über Nacht verwirklicht werden müssen, sondern nach und nach. Der Staat muss das Maximum der ihm zur Verfügung stehenden Ressourcen zur Verwirklichung der Rechte einsetzen und konkrete und wohl überlegte Schritte zur ihrer vollständigen Verwirklichung unternehmen. Zudem beinhaltet die Erfüllungspflicht nur in Ausnahmefällen eine direkte Erfüllung durch den Staat. In erster Linie ist der Staat verpflichtet, die Rahmenbedingungen dafür zu schaffen, dass Menschen

sich selbst Zugang zu Wasser und Sanitärversorgung verschaffen können.

- **Nichtdiskriminierung:** Parallel dazu haben Staaten die Verpflichtung nicht zu diskriminieren, d.h. zu gewährleisten, dass die Rechte auf Wasser und Sanitärversorgung ohne Diskriminierung hinsichtlich der Rasse, der Hautfarbe, des Geschlechts, der Sprache, der Religion, der politischen oder sonstigen Anschauung, der nationalen oder sozialen Herkunft, des Vermögens, der Geburt, einer Behinderung, des Gesundheitszustands oder des sonstigen Status ausgeübt werden können (Art. 2(2) des Sozialpakts). Um bestehende Diskriminierungen auszugleichen, kann der Staat verpflichtet sein, besondere Maßnahmen für marginalisierte Gruppen und Individuen zu ergreifen.

Fazit

In den letzten Jahren hat sich eine enorme Entwicklung vollzogen. Es ist unumstritten, dass menschenrechtliche staatliche Verpflichtungen bezogen auf Wasser und Sanitärversorgung unter geltendem Recht bestehen. Auch erfahren Wasser und Sanitärversorgung zunehmend explizit Anerkennung als Menschenrechte. Nur eine solche Anerkennung wird den eigenständigen Merkmalen und der zentralen Bedeutung von Wasser und Sanitärversorgung als grundlegende Voraussetzungen für das menschliche Überleben und ein Leben in Würde gerecht. Die Arbeit der Unabhängigen Expertin wird diese Entwicklung weiter vorantreiben.

Weiterführende Hinweise

Committee on Economic, Social and Cultural Rights, General Comment No. 15, The right to water (arts. 11 and 12 of the International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights), 20 January 2003, E/C.12/2002/11

Human Rights Council, Report of the United Nations High Commissioner for Human Rights on the scope and content of the relevant human rights obligations related to equitable access to safe drinking water and sanitation under international human rights instruments, 16 August 2007, A/HRC/6/3

Human Rights Council, Human rights and access to safe drinking water and sanitation, 28 March 2008, A/HRC/RES/7/22

Human Rights Council, Report of the independent expert on the issue of human rights obligations related to access to safe drinking water and sanitation, Catarina de Albuquerque, 1 July 2009, A/HRC/12/24

Human Rights Council, Human rights and access to safe drinking water and sanitation, 12 October 2009, A/HRC/RES/12/8

Inga Winkler, Deutsches Institut für Menschenrechte, Berlin*

* Inga Winkler ist wissenschaftliche Mitarbeiterin am Deutschen Institut für Menschenrechte. Sie arbeitet zu den Rechten auf Wasser und Sanitärversorgung und unterstützt das Mandat der Unabhängigen Expertin der Vereinten Nationen zum Thema der menschenrechtlichen Verpflichtungen bezogen auf Zugang zu sicherem Trinkwasser und Sanitärversorgung. Der Beitrag spiegelt ihre persönliche Meinung wider, nicht notwendigerweise die des Deutschen Instituts für Menschenrechte oder der Unabhängigen Expertin.

Digitales Inventar kleiner hydrologischer Untersuchungsgebiete **Digital inventory of small hydrological research basins**

Hydrologische Untersuchungsgebiete mit klar definierten Eigenschaften und Systemgrenzen sind sehr gut geeignet zur Untersuchung der komplexen Prozesse im Naturraum – sowohl der natürlichen oder auch der anthropogen geprägten Prozesse. Diese Untersuchungsgebiete leisten einen wertvollen Beitrag zum Verständnis und zur Überwachung von Prozessen des Energie- und Wasserhaushaltes sowie der daran gebundenen Stoffkreisläufe. Hydrologische Untersuchungsgebiete mit langen Messreihen dienen auch als Referenzgebiete für unterschiedliche zeitvariante Messgrößen und erlauben die Erfassung von Veränderungen infolge von Belastungsquellen.

Um einen Überblick über die derzeit betriebenen hydrologischen Untersuchungsgebiete und ihre Zielstellungen zu erhalten, wurde von einer IHP/HWRP-Arbeitsgruppe auf der Basis einheitlicher Vorgaben ein digitales Inventar der European Representative Basins (ERB-Gebiete) erarbeitet. Es ist geplant, dieses Inventar zu erweitern und regelmäßig zu aktualisieren, um so den Austausch von Information zwischen den Betreibern der Gebiete und Wissenschaftlern zu fördern.

Das digitale Inventar kleiner hydrologischer Untersuchungsgebiete kann eingesehen werden unter <http://ne-friend.bafg.de>

G. Strigel, IHP/HWRP-Sekretariat, Koblenz

Tagungsbericht

Internationales Symposium Auen und Hochwasser **International Symposium on Flood Plains and Floods**

Die Flussauen Mitteleuropas sind seit jeher bevorzugte Siedlungsgebiete. In den vergangenen 150 Jahren unterlagen die Auen starken anthropogenen Veränderungen. Durch den Druck von Landwirtschaft, Verkehr, Industrie sowie von Siedlung und Gewerbe sind die Wasserläufe oft gestreckt und ausgebaut sowie die Überschwemmungsflächen kultiviert und ausgedeicht worden. Die natürliche Funktion der Auen wurde zusätzlich durch Brücken und Dämme sowie durch Querbauwerke in den Flüssen beeinträchtigt.

Inzwischen ist man sich darüber im Klaren, dass Auen nicht allein der anthropogenen Nutzung dienen sollten. In ihrer ursprünglichen Gestaltung sind sie für den Schutz vor Hochwasser unabdingbar. Des Weiteren sind Auen ein wichtiger Bestandteil verschiedener ökologischer Kreisläufe. Für deren Funktionieren sind sie unverzichtbar. Hier treffen – wie an kaum einem anderen Ort – Belange des Naturschutzes und der Wasserwirtschaft aufeinander. Diese gilt es vor dem Hintergrund der Erhaltung von Biodiversität und des Hochwasserschutzes abzustimmen. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde begonnen, Lösungen zu erarbeiten und exemplarisch in der Praxis zu erproben. So liegen heute erste Ergebnisse aus einigen Bundesländern sowie aus dem Ausland vor.

Diese Thematik wurde im Rahmen des Symposiums „Auen und Hochwasser“ am 10. und 11. Februar 2010 in Ingolstadt erörtert. Die Veranstaltung wurde von der Fachgemeinschaft Hydrologische Wissenschaften in der DWA, dem Aueninstitut Neuburg/Donau, der Professur für Angewandte Physische Geographie der Katholischen Universität Eichstätt-Ingolstadt, dem Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit sowie vom Institut für Wasserwesen – Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz – der Universität der Bundeswehr München organisiert.

Das Symposium bot ein Forum für Fachleute aller verwandten Disziplinen aus Verwaltung, Ingenieurpraxis, Kommunen, Ver-

bänden und Forschung, die sich aktuelles und notwendiges Wissen aneignen und zielgerichtet nutzen wollen. Das Symposium war in fünf Blöcke aufgeteilt, die vom generellen Überblick bis zur detaillierten Maßnahme und der späteren Umsetzung in Programmen vielfältige Anregungen boten.

Im ersten Block „Naturgesetzliche Grundlagen für Auen und Hochwasser“ wurde die Hydromorphologie von Fluss- und Stromauen behandelt. Es wurde deutlich, dass es viele Parameter gibt, die zur Charakterisierung einer Aue herangezogen werden können. Fluss und Aue sind nicht getrennt zu behandeln, man kann beide nicht entkoppeln. Spätestens bei Hochwasser sind sie eine Einheit. Daraus ergeben sich für das Festlegen eines Auen-Leitbildes erhebliche Schwierigkeiten. Wie auch in anderen Bereichen der Renaturierung muss zunächst der Startpunkt definiert werden. Dieser dient als Ausgangspunkt weiterführender Betrachtungen. Da unsere Flussauen über Jahrhunderte hinweg verändert wurden, bleibt dies ein problematischer Punkt.

Beim Ablauf eines Hochwassers in der Aue muss die Veränderung der Flussauen kritisch betrachtet werden. Ist genug Retentionsraum vorhanden – bei unverbauten Flüssen und Flussauen müsste eigentlich von Ausuferungsraum gesprochen werden –, bereitet der Ablauf eines Hochwassers eigentlich keine Probleme. Allerdings ging ein Großteil dieser Flächen entlang der Flüsse mit der Zeit verloren. Dies lässt sich heute mit Geländemodellen und historischen Karten entsprechend modellieren und verdeutlichen. Damit kann auch gezeigt werden, wie eine gegebene Hochwassermenge vor 150 Jahren abgelaufen wäre bzw. unter den heute veränderten Bedingungen ablaufen würde.

Bei der Thematisierung der Veränderungen kommt schnell die Frage auf, wie viel natürliche oder naturnahe Auenfläche noch vorhanden ist. Das Bundesamt für Naturschutz hat hierzu eine Bilanzierung in Auftrag gegeben, die zeigt, wie viele intakte Flächen in Deutschland noch bestehen. Neben der Hydromorphologie und den Leitbildern einer Aue ist besonders der gesamte Wasserhaushalt bis hin zum Grund- und Bodenwasser, also die Hydrologie, von ganz entscheidender Bedeutung.

Auch im zweiten Themenbereich „Maßnahmen in Auen“ wurde die Trennung in die Sparten Naturschutz und Hochwasserschutz deutlich. Gemeinsam war beiden – und das war nicht nur die zentrale Nachricht dieses Themenblockes, sondern eigentlich die des gesamten Symposiums –, dass für Maßnahmen jedweder Art entsprechende Flächen und deren Besitz erforderlich sind! Weder der technische Hochwasserschutz noch der Naturschutz kann in Flussauen wirken, wenn die Flächen für die geplanten Maßnahmen nicht im Besitz des jeweiligen Maßnahmenträgers sind. Hier sind dem Zusammengehen von Naturschutz und Wasserwirtschaft Grenzen gesetzt. Während der Naturschutz für die entsprechenden Maßnahmen mehr Dynamik in der Aue fordert, einschließlich Deichrückverlegungen und Reaktivierung der Auenfläche, wünscht man sich beim technischen Hochwasserschutz natürlich eher stabilere Verhältnisse. Diese können durch Polder geschaffen werden, wobei man bei der effizienten Steuerung der Polder noch nicht für jede Art einer Hochwasserwelle eine hundertprozentige Lösung gefunden hat. Der Naturschutz dagegen wünscht sich Fließpolder, also im Prinzip reaktivierte Auenflächen, und keinen Einstau von großen Wassermengen auf unbestimmte Zeit. Teilweise kann der dezentrale Hochwasserschutz durch verschiedenste Maßnahmen helfen, Probleme zu lösen, wobei es sicherlich zunächst an den Gewässern zweiter oder dritter Ordnung zu spürbaren Auswirkungen kommt. Allgemein skeptisch wurde das Management der Deichvorländer mit Anbauverbotten und Gehölzauflichtungen betrachtet. Sofern solche Maßnahmen überhaupt möglich sind, stellen sie nur einen Mittelweg dar. Man versucht die Flächen so naturnah wie möglich zu gestalten bzw. zu belassen, muss aber doch bedeutend eingreifen, um die Hochwassersicherheit zu gewährleisten. Ein schmaler Grat, der Bedenken auf beiden Seiten erzeugt.

Die Vielfalt an Projekten, die im dritten Block namens „Beispiele“ präsentiert wurden, zeigt die ganze Spannweite des Themas Auen. Die Skalenabhängigkeit von Maßnahmen und Sichtweisen wurde sehr deutlich. Die Böschungssicherungen lassen sich bei einem Gewässer im Mittelgebirgsbereich oft noch problemlos entfernen und über Abflachungen der Ufer kann ein frühzeitiges Ausufern des Gewässers und eine dynamische Entwicklung des Gewässerbetts gefördert werden. Diese Maßnahmen sind an schiffbaren Gewässern oft gar nicht mehr anwendbar. Ein Beitrag von der österreichischen Donau unterhalb Wiens, im Bereich des dortigen Donau-Auen Nationalparks, zeigte, dass es teilweise möglich ist.



Abbildung 1
Ausleitungsbauwerk, Projekt „Dynamisierung der Donauauen zwischen Neuburg und Ingolstadt“

Wie viele Kompromisse dabei aber eingegangen werden mussten und welcher Aufwand notwendig war, um eine für alle Seiten tragbare Lösung zu finden, wurde erst durch die detaillierte Darlegung sichtbar. Kompromisse mussten auch im Bereich der bayerischen Donau oberhalb Ingolstadts eingegangen werden, um den Auenbereich wieder dynamischer zu gestalten. Ein Entfernen der Böschungssicherung kam im Stauhaltungsbereich zwischen zwei Staustufen gar nicht in Frage. So mussten technische Lösungen mit Ausleitungsbauwerken (Abb. 1) für ein Umgehungsgewässer und für ökologische Flutungen gefunden werden, um Durchgängigkeit und laterale Vernetzung zu ermöglichen.

Der Themenbereich „Strategien und Programme“ wurde unter internationalen Aspekten diskutiert. Ausgangspunkt war das Bayerische Auenprogramm. Es wurde sichtbar, wie sehr es notwendig ist, die deutsche und europäische Naturschutz- und Wasserpolitik in Einklang zu bringen. Die Güte eines Gewässers definiert sich über wenige Parameter, die sich positiv nur dann einstellen, wenn das Umfeld, also die Aue, auch entsprechend entwickelt ist. Sollte dies nicht der Fall sein, wird das Gewässer recht schnell zu einem „Heavily Modified Water Body“ (HMWB) deklariert. Das Miteinander von Natur- und Hochwasserschutz setzte sich in den anderen Beiträgen fort. Beim Integrierten Rheinprogramm Baden-Württemberg geht es um umweltverträglichen Hochwasserschutz, der als Chance für die Auen angesehen wird. Der Blick über die Grenzen zeigte, dass es den Nachbarn nicht leichter fällt, einen naturverträglichen Hochwasserschutz zu installieren. Die Notwendigkeit des Schutzes und der Revitalisierung von Auen sowie die Probleme der Flächenkonkurrenz bestehen auch in der Schweiz. In Österreich wird das Spannungsfeld zwischen Hochwasser- und Naturschutz ebenfalls thematisiert. So werden Strategien entwickelt, wie man unter Einbeziehung des Inventars der Auen eine Taktik zur Lösung des Spannungsfeldes generieren kann. Auch im Südtiroler Etschtal zeigte der Vergleich von früher und heute die gleichen Probleme auf.

Am Ende schloss sich der Kreis zum ersten Beitrag des Symposiums: Betrachtet man die Aue, sind es viele Parameter, die sie charakterisieren. Beim Gewässer sind es deutlich weniger. Da beide unzertrennlich zusammen gehören, gilt etwas Ähnliches wie beim Liebigschen Gesetz vom Minimum. Wirklich intakte Gewässer lassen sich nur bei intakter Aue erhalten und naturnahe Auen können durch ihre Abhängigkeit von der Hydrologie nur bei intakten Gewässern existieren.

Das Thema „Auen und Hochwasser“ wird oft sehr emotional diskutiert. Dem wollten die Veranstalter auch Rechnung tragen. So fand abschließend eine Podiumsdiskussion mit Vertretern des Naturschutzes (Prof. Dr. Hubert Weiger, Präsident BUND und Bund Naturschutz in Bayern), des bayerischen Umweltministeriums (Dipl.-Ing. Claus Kumutat, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit, Abteilung Wasserwirtschaft), der privaten Forstwirtschaft (Dr. Harald Textor, Wittelsbacher Ausgleichsfonds, Oberforstdirektion Ingolstadt), des bayerischen Bauernverbandes (Kreisobmann Ludwig Bayer, Stellvertretender Vorsitzender des BBV-Landesfachausschusses für ländlichen Raum und Umwelt) sowie eines durch Hochwasser gefährdeten Landkreises (Landrat Christian Bernreiter, Landkreis Deggen-dorf) statt. Die Podiumsdiskussion war von Titel und Inhalt her ein Spiegel des gesamten Symposiums. Mit dem Thema „Die Auen als Natur- und Lebensraum, Rückhalteraum für Hochwas-

ser und land- und forstwirtschaftliche Nutzfläche – ein unlösbarer Widerspruch?“ lebte sie – ganz zur Freude der Veranstalter – von kontroversen Redebeiträgen. Auch während der Podiumsdiskussion trat erneut die Frage des Grundeigentums in den Vordergrund. Gerade die Vertreter der Land- und Forstwirtschaft sahen sich durch das im Grundgesetz verbriefte Recht auf Nutzung des Eigentums durch die Maßnahmen von Naturschutz und Wasserwirtschaft mindestens gegängelt, wenn nicht sogar stark beeinträchtigt. Aber auch von Seiten des Naturschutzes wurde auf die bestehenden nationalen und EU-Gesetze, wie das Bundesbodenschutzgesetz, europäische Wasserrahmenrichtlinie etc. verwiesen und auf ausreichende Umsetzung gedrängt. Es gibt noch zuviel Interpretationsspielraum.

Inhaltlich zeigte sich das Symposium völlig autotypisch – das einzig Beständige waren der Wechsel der Sichtweise sowie die Dynamik in den Vorträgen. In jedem der thematischen Blöcke gab es eine „blaue“ (Wasserwirtschaft) oder „grüne“ (Naturschutz) Sichtweise der Thematik. Das Umdenken, welches der Vertreter des bayerischen Umweltministeriums in seinem Grußwort beschworen hatte, zeichnete sich in den Beiträgen ab. Besonders im Bereich der Wasserwirtschaft hat sich das Bild gewandelt. Auch der Naturschutz geht teilweise weg vom Gedanken des reinen Artenschutzes und mehr und mehr hin zum Prozessschutz. Dies ist gleichbedeutend mit mehr Dynamik in der Aue. Ob das alles freiwillig geschieht oder Sachzwänge dahinter stecken, die zum Beispiel durch die europäische Naturschutz- und Wasserpolitik entstehen, lässt sich nur vermuten. Inzwischen ist es meistens nur noch die Frage, ob die Sichtweise und die folgende Maßnahme „blau-grün“ oder „grün-blau“ sind. Der Wille zu einem Zusammen-

gehen ist da, keine Frage. Wissen und Methoden sind ebenfalls zu großen Teilen vorhanden. Was fehlt – und das wurde quasi in allen Vorträgen deutlich – ist der Landbesitz. Für die Rückführung von genutzter Kulturlandschaft in den Hochwasserschutz braucht man Land, welches den Flüssen überlassen werden kann. Ist dieses Land nicht zu kaufen, hilft oft die Kommunikation. Das war ein weiteres, wichtiges Ergebnis des Symposiums. Die Kommunikation ist als noch ausbaufähig erkannt worden. Es muss der gesamten Bevölkerung und insbesondere den Eigentümern klar gemacht werden, wofür das Land benötigt wird. Die Akzeptanz von Maßnahmen zur Auenrenaturierung und zum naturnahen Hochwasserschutz muss über die Kommunikation hergestellt werden. Dies war die zentrale Mitteilung des Symposiums.

Die Vorträge des Symposiums sind erschienen in:

Cyffka, Bernd & Hans-B. Kleeberg (Hrsg.) (2010): Auen und Hochwasser – Beiträge zum Internationalen Symposium am 10./11. Februar 2010 in Ingolstadt. – Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, Heft 27.10, 192 S., ISBN 987-3-941897-08-3

Das Heft kann bei der DWA (Tel. 02242/872-120, E-mail: kundenzentrum@dwa.de) erworben werden.

Anschrift der Verfasser:

Prof. Dr. Bernd Cyffka und Gerald Blasch
Aueninstitut Neuburg
Schloss Grünau
86633 Neuburg a.d. Donau
bernd.cyffka@aueninstitut-neuburg.de

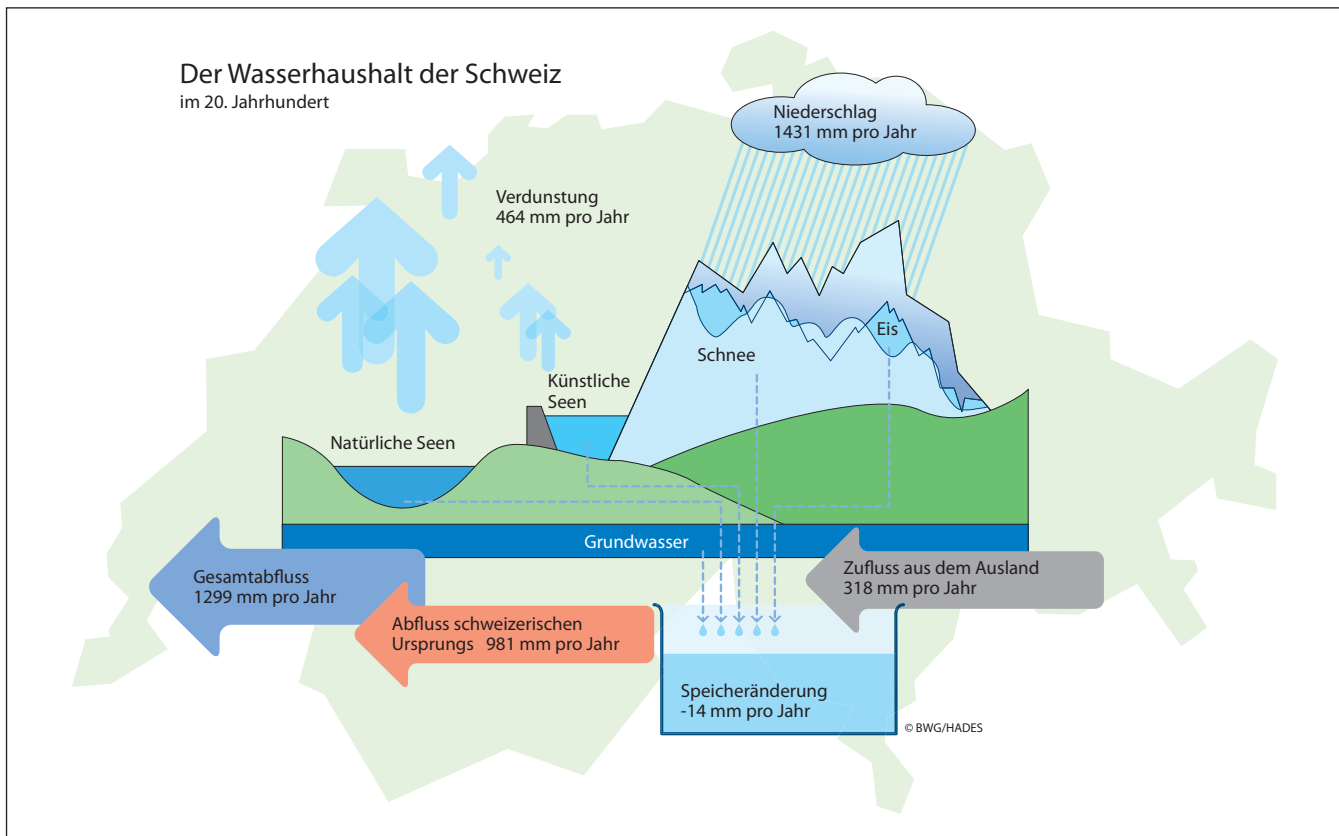
Projektbericht

CCHydro – Auswirkungen der Klimaänderung auf die Wasserressourcen und die Gewässer in der Schweiz **CCHydro – impacts of climate change on water resources, rivers, and lakes in Switzerland**

Die Schweiz gilt als Wasserschloss Europas und besitzt eine Wasserreserve von 230 Milliarden Kubikmeter. Dieses Volumen ergäbe gleichmäßig auf die Schweiz verteilt einen See von 5,6 m Tiefe. Im 20. Jahrhundert wurden in der Schweiz jährlich im Durchschnitt 1431 mm Niederschlag beobachtet (Abb. 1). Davon sind rund 31 Prozent, also 464 mm/a verdunstet. Da in dieser Zeit die Gletscher stark zurückgeschmolzen sind, haben sie etwa 14 mm/a zum Abfluss beigetragen, so dass sich dieser auf 981 mm/a erhöhte. Dieser Abfluss wurde ausschließlich auf schweizerischem Staatsgebiet generiert. Zusätzlich fließen der Schweiz aus ihren Nachbarländern erhebliche Mengen von Wasser zu, so dass schließlich über die großen Flüsse Rhein, Rhone, Ticino und Inn 1299 mm Wasser pro Jahr die Schweiz verlassen (SCHÄDLER 2008). Trotz dieses Wasserreichtums existieren in der Schweiz bis heute keine umfassenden, auf modernen und hoch aufgelösten Klimaszenarien basierenden Modellierungen des hydrologischen Kreislaufes, weder für das gesamte Territorium der Schweiz noch für ihre Flussgebiete und ihre kleineren und mittleren Einzugsgebiete. In verschiedenen Publikationen sind

hauptsächlich qualitative Aussagen über die Auswirkungen in Bezug auf Hochwasser (KOHS 2007), Niedrigwasser und Wasserwirtschaft (OcCC 2007) gemacht worden. Quantitative Aussagen hinsichtlich Veränderung der Hoch- und Niedrigwasser sind nicht verfügbar. Ebenfalls sind heute in der Schweiz nur sehr wenige verlässliche quantitative Aussagen bezüglich Veränderung der Eisreserven und der Abflüsse stark vergletschter Einzugsgebiete vorhanden. Insbesondere fehlen diesbezügliche Untersuchungen der großen Gletscher.

Ziel des BAFU-Projekt CCHydro (Klimaänderung und Hydrologie in der Schweiz) ist es, basierend auf den heutigen Klimaszenarien für die verschiedenen Klimaregionen, Höhenstufen und geomorphologischen Ausprägungen in der Schweiz zeitlich und räumlich hochaufgelöste Szenarien des Wasserkreislaufes und der Abflüsse für die Zeitperiode bis 2050 zur Verfügung zu stellen. Darauf basierend können Analysen der Veränderungen der Abfluss-Extremwerte (Hoch- und Niedrigwasser), der Wasserressourcen und ihrer jahreszeitlichen Verteilung (Regimes) der Grundwasserinfiltration und des Bodenwassergehaltes sowie der Wassertemperatur durchgeführt werden.

**Abbildung 1**

Der Wasserhaushalt der Schweiz im 20. Jahrhundert (HUBACHER & SCHÄDLER 2010)

Projektmodule CCHydro

Das Projekt CCHydro gliedert sich in 7 Projektmodule:

- (1) Klimaszenarien für die Schweiz bis 2050
- (2) Natürlicher Wasserhaushalt der Schweiz und ihrer bedeutendsten Großeinzugsgebiete
- (3) Klimaänderung und Wasserhaushalt in sensiblen Bilanzierungsgebieten
- (4) Klimaänderung und Niedrigwasser
- (5) Abflussmodellierung von Schweizer Gletschern
- (6) Klimaänderung und Hochwasser
- (7) Klimaänderung und Wassertemperatur (Pilotstudie)

Die Projektmodule (1) bis (5) wurden im Herbst 2008, Projektmodule (6) und (7) im Herbst 2009 gestartet. Die Ergebnisse zu den Klimaszenarien bis 2050 für die Schweiz dienen als Grundlage zur hydrologischen Modellierung bei den Projektmodulen (2) bis (7). Der Projektabschluss von CCHydro ist im Dezember 2011 geplant. CCHydro liefert zudem einen Beitrag zum KHR Projekt Rheinblick 2050 und zum Interreg Projekt AdaptAlp WP4.

Klimaszenarien für die Schweiz bis 2050

(Leitung: Prof. Dr. Christoph Schär, Institut für Atmosphäre und Klima IAC, ETH Zürich)

Hydrologische Klimastudien in kleinen Einzugsgebieten benötigen Informationen zur Klimaänderung mit einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung. Regionale Klimamodelle (RCMs) mit

ihrer momentanen horizontalen Auflösung von rund 25 km sind zurzeit die beste verfügbare Datenquelle. Einerseits ist diese Auflösung jedoch immer noch zu grob für kleinskalige hydrologische Klimastudien, und andererseits weisen RCM-Daten gegenüber Messdaten beträchtliche Fehler auf. Es ist deshalb notwendig, RCM-Daten mit statistischen Verfahren aufzubereiten, bevor sie für hydrologische Klimastudien verwendet werden. Bisher stellten die Klimaszenarien aus dem EU-Projekt PRUDENCE die aktuellsten Prognosen dar, welche für die Schweiz aufbereitet wurden. Für CCHydro werden nun in diesem Modul 1 die Klimaszenarien des EU-Folgeprojektes ENSEMBLE verwendet. Diese Klimaszenarien stellen den neuesten Stand der regionalen Klimamodellierung dar. Sie werden mit Hilfe statistischer Methoden aufbereitet und dienen als Grundlage für die hydrologische Modellierung bei den Projektmodulen (2) bis (7).
www.iac.ethz.ch/groups/schaer
www.ensembles-eu.org/

Natürlicher Wasserhaushalt der Schweiz und ihrer bedeutendsten Großeinzugsgebiete

(Leitung: Dr. Massimiliano Zappa, WSL)

Dieses Projektmodul befasst sich mit einem innovativen gesamtschweizerischen hydrologischen Simulationsexperiment. Es wird angestrebt, die klima- und landnutzungsbedingten Veränderungen des natürlichen Wasserhaushalts der Schweiz gegenüber der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts für die kommenden Jahrzehnte zu bestimmen und statistisch auszuwerten. Das Mo-

dul wird in drei Teilprojekte gegliedert, um eine bestmögliche Anknüpfung an vergangene und gegenwärtige Projekte zu ermöglichen und dem „state of the art“ gerecht zu werden. Das Teilprojekt HYDRO befasst sich mit der Realisierung des hydrologischen Experiments und der Verknüpfung mit den Klima-, Waldentwicklungs-, und Gletscherschwundsszenarien. Bei dem Teilprojekt GLAC geht es um die Bestimmung der veränderten Gletscherflächen für die gesamte Schweiz unter Berücksichtigung des individuellen Verhaltens der Gletscher. Im Teilprojekt WALD werden die Veränderungen der Waldflächen sowie die Veränderungen des Mischungsgrades von Laub- und Nadelbäumen für die ganze Schweiz ermittelt.

Klimaänderung und Wasserhaushalt in sensiblen Bilanzierungsgebieten

(Leitung: Prof. Dr. Rolf Weingartner, Geographisches Institut Universität Bern GIUB)

Ziele dieses Moduls sind in einem ersten Teil die Ermittlung der klimasensiblen Einzugsgebiete und die Quantifizierung der Änderungen des Wasserhaushalts (Teilprojekt A). Hiervon ausgehend werden Detailanalysen in repräsentativen, klimasensiblen Einzugsgebieten durchgeführt, die insbesondere die Veränderungen im Hochwasserverhalten untersuchen sollen sowie die Inputsensitivität in Bezug auf veränderte Gletscher- und Waldflächenanteile (Teilprojekt B). Untersuchungsgegenstand sind ca. 200 Einzugsgebiete mit einer mittleren Größe von 150 km², für welche mit dem prozessorientierten hydrologischen Modellsystem PREVAH (Precipitation-Runoff-EVaporation-Hydrotop based-model, Viviroli et al. 2007) Simulationen in stündlicher Auflösung erstellt werden.

Klimaänderung und Niedrigwasser

(Leitung: Prof. Dr. Rolf Weingartner, Geographisches Institut Universität Bern GIUB)

Da bisher in der Schweiz meist genügend oder sogar viel Wasser verfügbar war, wurde die Erforschung der Niedrigwasserverhältnisse und der Niedrigwasserprozesse eher stiefmütterlich behandelt. Die Ereignisse im Jahr 2003 haben aber gezeigt, dass auch in der wasserreichen Schweiz ein gespanntes Verhältnis der Wassernutzung mit den natürlichen Kreisläufen entstehen kann. Das Ziel dieses Moduls ist es, in möglichst vielen repräsentativen Einzugsgebieten der Schweiz mögliche Auswirkungen des Global Change auf die Niedrigwasserverhältnisse zu untersuchen. Dies muss prozessorientiert, ausgehend von einer umfassenden Analyse der Niedrigwasserverhältnisse, erfolgen. Es werden einerseits jene Gebiete bzw. jene Typen von Einzugsgebieten identifiziert, welche besonders sensitiv auf eine Veränderung der Umweltbedingungen reagieren; andererseits wird eine Quantifizierung dieser Veränderungen angestrebt. Im Mittelpunkt der Analysen stehen Einzugsgebiete, deren Abflussverhältnisse nicht durch die Schnee- und Gletscherschmelze dominiert werden. In diesen Gebieten können die Auswirkungen des veränderten Klimas auf die Hydrologie direkt untersucht werden. Im Weiteren interessieren hauptsächlich Niedrigwasserphasen, die zu Konflikten mit der bestehenden Nutzung führen. Deswegen werden ausschließlich Niedrigwasser der Sommermonate Mai bis Oktober untersucht.

Abflussmodellierung von Schweizer Gletschern

(Leitung: Prof. Dr. Martin Funk, VAW ETH Zürich)

Für Studien über den Wasserhaushalt in alpinen Einzugsgebieten sind zuverlässige Angaben über das Eisvolumen eines Gletschers und die Verteilung davon unerlässlich (HUSS et al. 2008b). Obwohl in den letzten Jahren die Schweizer Gletscher sehr viel Eis durch verstärkte Schmelze verloren haben, liegen in den Schweizer Alpen noch bedeutende Eismassen. Das BAFU gibt im Magazin UMWELT in einem Artikel zum Thema „Abnehmende Wasserreserven in den Alpen“ (BAFU 2006) für das Jahr 2005 ein vorhandenes Volumen von 45 Kubikkilometer Wasser (oder 50 Kubikkilometer Eis) an. Heute sind nur sehr wenige verlässliche quantitative Aussagen bezüglich Veränderung der Eisreserven und der Abflüsse stark vergletschter Einzugsgebiete vorhanden. Insbesondere fehlen diesbezügliche Untersuchungen der großen Gletscher in der Schweiz. Die zu erwartenden mittleren Jahresabflüsse und die Änderung im Abflussregime werden für vergletscherte Einzugsgebiete in den Einzugsgebieten der Flüsse Rhone, Po, Aare, Rhein und Inn bis 2100 berechnet. Dafür werden die neuesten Klimaszenarien des Moduls 1 genutzt. Das aktuelle totale Gletschervolumen der zu betrachtenden Einzugsgebiete umfasst ca. 30 % der in der Schweiz geschätzten Eismenge.

Klimaänderung und Hochwasser

(Leitung: Dr. Felix Naef, Hybest GmbH)

In den letzten Jahren wurden in der Schweiz in über 100 Einzugsgebieten Forschungsprojekte und hochwasserhydrologische Untersuchungen durchgeführt. Die Daten dieser Untersuchungen, in denen die Abflussbildung detailliert erfasst wurde, liegen vor. In zahlreichen Gebieten wurden die Messreihen durch historische Hochwasser ergänzt, so dass in günstigen Fällen das Hochwassergeschehen und die Variation der Hochwasserhäufigkeiten über mehrere 100 Jahre überblickt werden können.

Das Ziel des vorliegenden Projekts ist es, eine Synthese der vorhandenen Erkenntnisse vorzunehmen, die einzelnen Komponenten zu gewichten und deren Auswirkung auf die Bestimmung der Dimensionierungshochwasser abzuschätzen. Weiter soll untersucht werden, welche Einzugsgebiete sich bei extremen und extremsten Ereignissen der Vergangenheit wie verhalten haben um daraus abzuleiten, wie sie sich bei zukünftigen Ereignissen verhalten werden. Die Datengrundlage liefern die vorhandenen Untersuchungen, die ausgewertet und analysiert werden. Liegen die Untersuchungen schon weiter zurück, sollen sie mit neueren Hochwassern ergänzt werden. Zusätzlich sollen auch weitere Einzugsgebiete einbezogen werden, die sich durch ein auffälliges Verhalten auszeichnen. Danach werden die Einzugsgebiete nach ihren Reaktionen klassifiziert. Welche haben stark reagiert, welche nicht? Zeigt sich in der Hochwasserstatistik, unter Berücksichtigung der historischen Hochwasser, ein Plateau, eine konsistente Verteilung oder extreme Ausreißer? Welche Gebiete zeigen welches Verhalten und wie lässt sich dieses mit Kenntnissen über Abflussbildung und Abflussprozesse erklären und wann tritt ein Bruch ein?

Klimaänderung und Wassertemperatur (Pilotstudie)

(Leitung: Prof. Dr. Marc Parlange, EPFL)

In dieser Pilotstudie wird die Möglichkeit einer umfassenden Studie zur Wassertemperatur untersucht. Das Ziel dieses Moduls ist es, räumlich und zeitlich aufgelöste Vorhersagen der Wassertemperatur für die Periode bis ins Jahr 2050 zu gewinnen. Weiter werden diese in der Zukunft zu erwartenden Wassertemperaturen mit einer historischen Referenzperiode verglichen. Als Referenzperiode werden die letzten Jahrzehnte, seit dem Wassertemperaturmessungen verfügbar sind, benutzt.

Anschrift des Verfassers:

Dr. David Volken
Bundesamt für Umwelt
3003 Bern, Schweiz
david.volken@bafu.admin.ch

Literaturverzeichnis

BAFU (2006): Abnehmende Wasserreserven in den Alpen. – Magazin UMWELT 4/06 Wege des Wassers, Schmelzende Wasserreserven

HUBACHER, R. & B. SCHÄDLER (2010): Wasserhaushalt grosser Einzugsgebiete im 20. Jahrhundert. – In: Bundesamt für Umwelt: Hydrologischer Atlas der Schweiz, Tafel 6.6, Bern

HUSS, M., D. FARINOTTI, A. BAUDER & M. FUNK (2008b): Modeling runoff from highly glaciated alpine catchment basins under climate change conditions. – Hydrological Processes: 10. 1002/hyp.7055, vol. 22, number 19, p. 3888–3902

KOHS (2007): Auswirkungen der Klimaänderung auf den Hochwasserschutz der Schweiz. – Ein Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz KOHS im Schweizerischen Wasserverswirtschaftsverband; http://www.svv.ch/media/downloads/Klima_und_Hochwasser.pdf

OcCC (2007): Klimaänderung und die Schweiz 2050 – Erwartete Auswirkungen auf Umwelt, Gesellschaft und Wirtschaft; http://www.occc.ch/products/CH2050/CH2050-bericht_d.html

SCHÄDLER, B. (2008): Klimawandel – Geht uns das Wasser aus? – Gas Wasser Abwasser (gwa), 10, S. 763

VIVIROLI, D., J. GURTZ & M. ZAPPA (2007): The Hydrological Modelling System PREVAH. – Geographica Bernensia P40, Geographisches Institut der Universität Bern

Aktuelles

Wassermanagement für den Mittelmeerraum

Die Folgen des Klimawandels stellen die Mittelmeeranrainer vor große Herausforderungen. Vor allem die Verfügbarkeit und die Qualität von Wasser bereitet jetzt schon vielen Staaten große Probleme. Einigkeit herrscht darüber, dass der Klimawandel den Wasserhaushalt der Mittelmeerregion verändern wird. Wie diese Auswirkungen konkret aussehen werden, wurde bislang noch nicht hinreichend untersucht. Hier setzt das durch die EU finanzierte Umweltprojekt „Climate Induced Changes on the Hydrology of Mediterranean Basins“ (CLIMB) an. Insgesamt 19 Institutionen aus neun Ländern sind an dem Projekt beteiligt, das von Professor Ralf Ludwig, Department für Geographie der Ludwig-Maximilians-Universität (LMU) München, geleitet wird. Das Projektmanagement liegt bei der Bayerischen Forschungsallianz (BayFOR) unter der Leitung von Dr. Thomas Ammerl. CLIMB ist auf vier Jahre angelegt.

Dürreperioden, Hochwasser, die Versalzung des küstennahen Grundwassers sowie die zunehmende Landdegradation sind nur einige der Gefahren, durch die der fortschreitende Klimawandel zu politischen Konflikten und wirtschaftlichen Verteilungskämpfen in den betroffenen Regionen führen kann. Gefordert ist deshalb ein nachhaltiger Umgang mit den vorhandenen Wasserressourcen. Derzeit fehlen Analysemodelle und effektive Kontrollsysteme, mit denen die durch den Klimawandel forcierten

hydrologischen Veränderungen erfasst und bewertet werden können. Die bislang verfügbaren Projektionen sind sehr unsicher und basieren auf praktisch nicht validierbaren Daten aus globalen und regionalen Klimamodellen. CLIMB möchte hier methodische Lücken schließen. Das Projekt will Feldmessmethoden verbessern, Fernerkundungstechniken weiterentwickeln und damit hydrologische Modellierungen sowie die Analyse sozio-ökonomischer Faktoren in einen neuen konzeptionellen Rahmen einbinden. So sollen bestehende Unsicherheiten bei der Analyse der Auswirkungen des Klimawandels reduziert werden. Ziel ist es, ein Risikobewertungsinstrument zu schaffen, mit dessen Hilfe die Verteilung der Wasserressourcen möglichst effektiv gesteuert werden kann.

Insgesamt sind 19 Partnerinstitutionen aus neun verschiedenen Ländern an CLIMB beteiligt. Neben Deutschland, Frankreich, Italien und Österreich sind auch die fünf außereuropäischen Länder Ägypten, Kanada, Palästinensische Verwaltungsgebiete, Türkei und Tunesien in die Forschungsaktivitäten eingebunden.

An sieben ausgewählten Flusseinzugsgebieten rund um das Mittelmeer (in Frankreich, Italien, Tunesien, Türkei, Ägypten und Gaza) werden die Auswirkungen des Klimawandels auf die verfügbaren Wasserressourcen untersucht. Die Europäische Kommission hat neben CLIMB noch zwei weitere Großprojekte initiiert, WASSERMed (Water Availability and Security in Southern

Europe and the Mediterranean) und CLICO (Climate Change Hydro-Conflicts and Human Security), die mit CLIMB ein gemeinsames Cluster bilden sollen. Der geforderte interdisziplinäre Ansatz soll neben der Veränderung der natürlichen Ressourcen auch soziale und ökonomische Aspekte modellhaft berücksichtigen.

(aus: Pressemitteilung Bayerische Forschungsallianz GmbH vom 11. Januar 2010)

Vergleich zum Ausbau des Sacrow-Paretzer-Kanals

Die Wasser- und Schifffahrtsdirektion Ost sowie der Bund Umwelt und Naturschutz (BUND) Berlin und Brandenburg haben dem vom Bundesverwaltungsgericht vorgeschlagenen Vergleich für den Ausbau des Sacrow-Paretzer-Kanals (SPK) zugestimmt. Danach wird der SPK für moderne Güterschiffe vertieft, aber nicht mehr verbreitert. Durch den Verzicht auf die Verbreiterung kann die Baumreihe am Nordufer des SPK erhalten werden.

Der Planfeststellungsbeschluss zum Ausbau des Sacrow-Paretzer-Kanal war vom BUND beklagt worden. Daraufhin hatte die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung Vergleichsvorschläge erarbeitet. Das Bundesverwaltungsgericht hatte den Vergleich angeregt. Der BUND hat dem Vergleich zugestimmt. Der geänderte Planfeststellungsbeschluss ist nun rechtskräftig.

(aus: Pressemitteilung Nr. 007/2010, Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS), vom 13. Januar 2010)

Neue DWA Arbeitsgruppe WW-4.6 „Talsperren und Klimawandel“ – Erarbeitung eines DWA-Themenbandes: Stauanlagen im Klimawandel – Anpassungsstrategien zur Kompensation der Klimawandelfolgen“

Klimawandel und Stauanlagen

In den kommenden Jahrzehnten werden globale Klimaänderungen signifikante Auswirkungen auf das Temperatur-, Niederschlags- und Abflussgeschehen nach sich ziehen. Die regionalen Ausprägungen und Betroffenheiten in Deutschland werden unterschiedlich sein. Wenn auch die möglichen Szenarien weit streuen, so ist doch unbestritten, dass die Folgen dieser Änderungen den Wasserhaushalt und mit ihm die wasserwirtschaftlichen Verhältnisse signifikant beeinflussen werden. Um diesen Einflüssen rechtzeitig begegnen zu können, sind geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln. Dies geht konform mit der von der Bundesregierung am 17.12.2008 beschlossenen „Deutschen Anpassungsstrategie an den Klimawandel“.

Stauanlagen wie Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken und sonstige Wasserspeicher werden zwar durch die klimawandelbedingten Folgen unmittelbar in technischer und vor allem bewirtschaftungsseitiger Hinsicht betroffen, bieten aber zugleich die Möglichkeit, bei abnehmendem Wasserdargebot und/oder zunehmender Variabilität des Abflussgeschehens (Hochwasser, Niedrigwasser) ausgleichend zu wirken. Sie können Defizite bezüglich Wassernutzungen und Gewässerbenutzungen kompensieren. Insoweit ist damit zu rechnen, dass Stauanlagen mit dem Klimawandel – sicherlich regional unterschiedlich – zunehmende Bedeutung erlangen werden.

Maßnahmen für Stauanlagen

In dem geplanten DWA-Themenband sollen ausgehend von Klimawandelprojektionen für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gebietstypische Grundaussagen zu den für Stauanlagen relevanten natürlichen Folgen und anlagenspezifischen Auswirkungen identifiziert werden. Daraus schlussfolgernd werden dann mögliche Kompensations- und Anpassungsmaßnahmen aufgezeigt. Schwerpunkte bilden dabei Bemessungsansätze und -größen für Stauanlagen, technisch-konstruktive Vorsorgemaßnahmen und Maßnahmen zur Optimierung und Anpassung der Stauanlagenbewirtschaftung bis hin zu Fragen der Erweiterung oder des Neubaus von Stauanlagen. Es sollen Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die durch Beispiele aus der Praxis deutscher Stauanlagenbetreiber ergänzt werden.

Die Arbeitsgruppe WW-4.6 „Talsperren und Klimawandel“ im Fachausschuss WW-4 „Fluss- und Talsperren“ möchte mit diesem Themenband Politik, Verwaltung, Gebietskörperschaften, Hochschulen, Stauanlagenbetreiber und Planungsbüros ansprechen.

Hinweise und Anregungen zu diesem Vorhaben sowie Interessenbekundungen zur Mitarbeit nimmt die DWA-Bundesgeschäftsstelle gerne entgegen. Bitte wenden Sie sich an die DWA-Bundesgeschäftsstelle, Dipl.-Ing. Anett Baum, baum@dwa.de.

Hydraulische Berechnungsansätze für naturnahe Fließgewässer Erarbeitung des DWA-Merkblatt 524

Die Dimensionierung der Flussdeiche, der Unterhalt und das Management der Vorländer sowie bauliche Eingriffe zur naturnahen Umgestaltung unserer Flussauen setzen voraus, dass die hydraulischen Verhältnisse für den Ist- und Planungszustand möglichst genau berechnet werden. Hierbei gewinnt der busch- und baumartige Ufer- und Vorlandbewuchs auch hinsichtlich der Umsetzung der WRRL zunehmend an Bedeutung.

Ingenieurtechnisch betrachtet ist die Strömung in Gebieten, die mit Pflanzen bewachsen sind, außerordentlich komplex. Dennoch muss der Ingenieur im Zuge moderner Planungen die Auswirkungen dieser Faktoren u.a. auf den Wasserstand quantitativ beurteilen. Hierzu stehen ihm weit entwickelte hydrodynamisch-numerische Verfahren zur Verfügung. Heute zählen 1D- und 2D-hydrodynamisch-numerische Verfahren zum Standard zahlreicher Ingenieurbüros. Im Gegensatz dazu ist festzustellen, dass die meisten Verfahren mit rein empirischen Ansätzen für die Sohlenrauheit und den Pflanzenwiderstand betrieben werden. Weiterhin ist festzuhalten, dass zahlreichen Betreibern derartiger Verfahren und ihren Auftraggebern oftmals nicht ganz klar ist, welche Wirkung die implementierten Parameter auf das Strömungsfeld und damit auf den Wasserstand haben.

Hauptaufgabe der neuen Arbeitsgruppe

Vor diesem Hintergrund soll die Hauptaufgabe der neuen Arbeitsgruppe darin bestehen:

- einen möglichst umfassenden Überblick über die vorhandenen praxisrelevanten, jedoch theoretisch fundierten Ansätze zur Bestimmung der Sohlenrauheiten und Pflanzenwiderstände naturnaher Fließgewässer zu geben,

- die Ansätze derart aufzubereiten, dass sie ohne große Schwierigkeiten in die bestehenden hydrodynamisch-numerischen Verfahren implementiert werden können,
- die Gültigkeitsgrenzen der einzelnen Ansätze klar herauszustellen und entsprechend aufzubereiten.

Ziel ist die Erarbeitung eines DWA-Merkblattes über hydraulische Berechnungsansätze für naturnahe Fließgewässer, das in deutscher und englischer Sprache erscheinen soll. In dieses neue Merkblatt werden auch das DVWK-Merkblatt 220 (1991) „Hydraulische Berechnung von Fließgewässern“ integriert und Berechnungsansätze aus dem DWA-Fachbuch (2006) „Hydraulisch-sedimentologische Berechnungen naturnah gestalteter Fließgewässer – Berechnungsverfahren für die Ingenieurpraxis“ übernommen.

Die Arbeitsgruppe WW-3.1 „Hydraulische Berechnungsansätze für naturnahe Fließgewässer“ im Fachausschuss WW-3 „Hydraulik“ möchte mit diesem Merkblatt Ingenieurbüros und Wasserwirtschaftsverbände ansprechen.

Hinweise und Anregungen zu diesem Vorhaben werden gerne entgegen genommen. Kontakt: DWA-Bundesgeschäftsstelle, Dipl.-Ing. Anett Baum, 53773 Hennef, baum@dwa.de

Entwurf Merkblatt DWA-M 509 Fischauftiegsanlagen und fischpassierbare Bauwerke – Konstruktion, Bemessung, Qualitätssicherung

Der Gelbdruck des Merkblattes DWA-M 509 ist die stark erweiterte, vollständige Überarbeitung des im Jahr 1996 erschienenen DVWK-Merkblattes 232. Auf 287 Seiten werden in dem Entwurf für das neue Regelwerk Vorgaben für den Bau von Fischauftiegsanlagen formuliert. Darüber hinaus werden Kriterien für die Umgestaltung von Quer- und Kreuzungsbauwerken, Siel- und Schöpfungsbauwerken, Hochwasserrückhaltebecken, Schiffschleusen und Bootsgassen benannt. Ziel hierbei ist es, dass sowohl Fischauftiegsanlagen als auch fischpassierbare Bauwerke an mindestens 300 Tagen im Jahr gleichermaßen für die größten, als auch für die leistungsschwächsten Arten auffindbar und passierbar sind.

Das Merkblatt DWA-M 509 wird bis zum 30. April 2010 öffentlich zur Diskussion gestellt. Stellungnahmen richten Sie bitte schriftlich, nach Möglichkeit in digitaler Form, an die DWA-Bundesgeschäftsstelle, Frau Josefine Dahmen, Theodor-Heuss-Allee 17, 53773 Hennef, dahmen@dwa.de.

Die RWTH Aachen setzt auf mobiles Lernen via Internet und iTunes

Die RWTH Aachen wurde am 19. Oktober in dem gemeinsamen Wettbewerb des Stifterverbandes für die Deutsche Wissenschaft und der Kultusminister Konferenz für ihr Zukunftskonzept der Lehre mit dem Titel „Studierende im Fokus der Exzellenz“ ausgezeichnet. Einer der Schwerpunkte dieses Konzeptes ist die flächendeckende Weiterentwicklung der Lehre in allen Fakultäten im Zuge eines Blended Learning Konzeptes. Dieser Umbau der

Lehr- und Lernkultur setzt unter anderem die Bereitstellung von Selbstlernmedien über das Internet voraus.

Die RWTH Aachen verfügt in diesem Kontext über die zentrale Lehr- und Lernplattform L2P, die in den letzten Jahren inhaltlich immer weiter ausgebaut wurde und heute den Standard für die Lehrveranstaltungen der Universität darstellt. In L2P können Dozierende virtuelle Lernräume zu jeder ihrer Veranstaltungen anbieten. Ein Lernraum ist ein geschützter Bereich, der die Lehre unterstützt und dem Austausch von Lernmaterialien und Informationen dient.

Neben diesem hochschulinternen Angebot beteiligt sich die RWTH Aachen aktiv an dem iTunes U Programm der Firma Apple. iTunes U setzt auf der bekannten Plattform iTunes auf. Dort können nicht nur Musikstücke herunter geladen werden, sondern unter der speziellen iTunes U Rubrik auch aufgezeichnete Vorlesungen als eLectures oder Audio Mitschnitte von Veranstaltungen in Form von Podcasts. Diese Medien können kostenlos auf den PC und von dort auf ein mobiles Endgerät übertragen werden, so dass man jederzeit und überall Zugriff darauf haben kann. (Information unter: www.apple.com/education/mobile-learning).

Anders als die geschützten Lehr- und Lernbereiche von L2P sind die Inhalte der iTunes U somit für jedermann frei verfügbar. Aus dem Bereich der Wasserwirtschaft werden dort aktuell Lehrinhalte zu den Themenfeldern Hydrologie und Wasserwirtschaft sowie Siedlungswasserwirtschaft unter der Rubrik Civil Engineering bereit gestellt.

Das vorhandene Angebot an Wissensmedien ist sicher noch nicht so groß wie das Musikangebot, aber es lohnt sich ganz bestimmt, dort einmal zu stöbern, nachdem die iTunes Software installiert wurde. Neben der RWTH Aachen sind derzeit aus Deutschland noch die Universität Freiburg, die LMU aus München sowie die Universität Erlangen-Nürnberg vertreten. Nicht zu erwähnen braucht man an dieser Stelle wohl, dass so gut wie alle namhaften amerikanischen Universitäten ebenfalls dort ein Angebot bereit stellen.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Heribert Nacken, Studiendekan der Fakultät für Bauingenieurwesen, RWTH Aachen

Moore erfolgreich wiedervernässen

Im norddeutschen Tiefland bedecken Moore 10 bis 12 Prozent der Oberfläche. Ursprünglich spielten sie hier – auf regionaler Ebene – eine wesentliche Rolle für den Landschaftswasserhaushalt und für die Reinhaltung der Gewässer, da neben großen Mengen Kohlenstoff auch die Pflanzennährstoffe Stickstoff und Phosphor in den Torfen wachsender Moore gebunden werden. Die Entwässerung der Moore zur Torfgewinnung und zur Intensivierung der Landwirtschaft sowie großräumige Grundwasserabsenkungen haben dazu geführt, dass nahezu 99 Prozent der Moore ihre landschaftsökologischen Funktionen verloren haben. Sauerstoff konnte in die oberen Bodenschichten eindringen, mit der Folge, dass der Torf mineralisierte: Der an Kohlenstoff gebundene Phosphor wird dabei abgespalten und kann als jetzt gelöster Nährstoff die angrenzenden Gewässer zusätzlich belasten.

Kohlenstoff oxidiert und wird als CO₂ in die Atmosphäre abgegeben.

Man schätzt, dass die Moorentwässerung und -nutzung an der deutschlandweiten Gesamt-CO₂-Emission einen Anteil von 2,3 bis 4,5 Prozent ausmacht. In Norddeutschland mit hohem Anteil an landwirtschaftlich genutzten Moorflächen liegt der Anteil wahrscheinlich weit über 20 Prozent.

Mit zunehmender Sorge über Wassermangel, Gewässereutrophierung, Klimaerwärmung und Artenverlust werden Moore zu ihrer Revitalisierung im großen Maßstab wiedervernässt. Innerhalb eines umfangreichen, im Jahr 2000 beschlossenen Moorschutzprogramms, wurden in Mecklenburg-Vorpommern knapp 10.000 Hektar entwässerter Moore wiedervernässt. In begleitenden Studien konnten die Wissenschaftler in Kooperation mit dem ZALF Müncheberg zeigen, dass in den ersten Jahren der Wiedervernässung größere Mengen an Phosphor und klimaschädlichem Methan freigesetzt werden. Dafür ist die obere stark zersetzte Torfschicht verantwortlich, in der sich leicht mobilisierbare Nährstoffe angereichert haben. Das trifft auch auf untersuchte Waldmoore in Berlin und Brandenburg zu. Für den praktischen Moorschutz bedeutet das: Der Wasseraustausch von überstauten Mooren mit angrenzenden Gewässern sollte möglichst gering gehalten werden, beispielsweise durch den vorläufigen Erhalt von Deichanlagen. Zukünftig werden die neu gebildeten Flachseen langsam verlanden, und sich anschließend ein neues Moor ausbilden. Die vollständige Wiederherstellung der ursprünglichen landschaftsökologischen Funktionen wird vermutlich mehrere Jahrzehnte dauern. Ob sich dieser Prozess durch eine vorherige Entfernung der stark zersetzten Torfschicht beschleunigen lässt, ist Gegenstand eines aktuellen Forschungsprojektes des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei (IGB).

(aus: Pressemitteilung des Leibniz-Instituts für Gewässerökologie und Binnenfischerei vom 1. Februar 2010)

Nordrhein-Westfalen

Landesregierung Nordrhein-Westfalen passt Konzept zum Hochwasserschutz an

Die Landesregierung hat am 19. Januar 2010 das Hochwasserschutz-Konzept Nordrhein-Westfalen an neue Herausforderungen und internationale Anforderungen angepasst. Damit schafft das Kabinett die Voraussetzungen, die EG-Richtlinie über die Bewertung und das Management von Hochwasserrisiken umzusetzen. Dazu gehören eine Liste der Gewässer, für die Überschwemmungsgebiete ermittelt und ausgewiesen werden müssen sowie eine systematische Bestandsaufnahme und Bewertung von Hochwasserrisiken auf die menschliche Gesundheit, die Umwelt, das Kulturerbe und wirtschaftliche Tätigkeiten an allen Gewässern.

Für die so ermittelten Gebiete mit einem besonders hohen Hochwasserrisiko sind verbindliche Managementpläne mit konkreten Zielen und Maßnahmen aufzustellen und alle sechs Jahre fortzuschreiben. Zu den Aufgaben gehören auch die Flächenvorsorge bei der Regional- und Bauleitplanung, die Bauvorsorge durch angepasstes Bauen einschließlich der Gebäudenutzung

und die Gefahrenabwehr, wobei die Information der Bürger über Gefahren- und Verhaltensregeln besondere Bedeutung hat.

(aus: Pressemitteilung Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen vom 19. Januar 2010)

Sachsen

Übernahme der Obmannschaft für den Ständigen Ausschuss der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“

Nachdem das Saarland erstmals in der Geschichte der Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser für den Zeitraum 2008 und 2009 den Vorsitz und die Geschäftsführung übernommen hatte, fällt turnusgemäß die Obmannschaft des Ständigen Ausschusses für „Oberirdische Gewässer und Küstengewässer“ (AO) an das Saarland (2010–2012).

Der ständige Ausschuss Oberflächen- und Küstengewässer (AO) koordiniert die behördlichen Aktivitäten zur Bewirtschaftung, zum Schutz und zur Entwicklung der Fließgewässer und Seen, der Übergangs- und Küstengewässer. Es werden Verfahren der Datenerhebung und der Bewertung von Belastungen durch Festlegung stofflicher und ökologischer Qualitätsnormen abgestimmt, orientiert an gemeinsam vom Ausschuss entwickelten Zielvorgaben und Leitbildern. Die Einstufung der Gewässer in Güte- und Strukturklassen und deren kartenmäßige Darstellung obliegt dem AO ebenso wie die Entwicklung von Strategien zur ökologischen Gesamtplanung in den Flusseinzugsgebieten. Die nationalen Berichtspflichten zu den EG-Richtlinien mit Bezug zum Gewässerschutz und sich hieraus ergebende Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne werden im AO organisatorisch und inhaltlich koordiniert.

Weitere Informationen unter www.lawa.de

(aus: Pressemitteilung Ministerium für Umwelt, Energie und Verkehr, Saarland, vom 11. Januar 2010)

Freistaat Sachsen übernimmt Vorsitz der LAWA

Der Vorsitz der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) wechselt alle zwei Jahre in alphabetischer Reihenfolge zum nächsten Bundesland. Die Geschäftsstelle ist an den Vorsitz gebunden. Seit dem 1. Januar 2010 hat der Freistaat Sachsen, das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, den Vorsitz der LAWA.

(aus: www.lawa.de vom 19. Januar 2010)

Sachsen-Anhalt

Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels

Im Rahmen einer Studie wurden mögliche zukünftige Klimawirkungen auf die Sektoren Wasser, Boden, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Naturschutz, Phänologie und Weinbau in Sachsen-

Anhalt untersucht. Projektionen für die Zeithorizonte 2025, 2055 und 2085 wurden mit dem Referenzzeitraum 1961 bis 1990 verglichen. Die Sektoren zeigen deutliche Unterschiede in den Klimawirkungen, insbesondere hinsichtlich ihrer räumlichen Ausprägung. Im größten Teil des Landes – mit Ausnahme des Harzes – wird voraussichtlich der Niederschlag vermindert und die Verdunstung aus Böden und Vegetation gesteigert.

Der Endbericht „Klimawandel in Sachsen-Anhalt: Verletzlichkeiten gegenüber den Folgen des Klimawandels“ kann unter www.klimawandel.sachsen-anhalt.de heruntergeladen werden.

(aus: *Gemeinsame Mitteilung des Ministeriums für Landwirtschaft und Umwelt Sachsen-Anhalt und des Potsdam-Instituts für Klimafolgenforschung vom 20. Januar 2010*)

Fachgemeinschaft in der DWA Hydrologische Wissenschaften

Neue Redaktionsleitung beim Hydrobrief der FgHW

Der Hydrobrief der FgHW, herausgegeben vom Arbeitskreis Öffentlichkeitsarbeit und Kommunikation, steht seit Jahresbeginn unter der redaktionellen Leitung von Dipl.-Hyd. Florian Winter. Er hat nach dem Studium an der Universität Freiburg bei Prof. Dr. Leibundgut zunächst Praxiserfahrung in der ingenieurwissenschaftlichen Komponente der Hydrologie und der Siedlungswasserwirtschaft gewonnen. Seit 2007 arbeitete er bei der Dorsch Consult (DC) Wasser und Umwelt GmbH in München im Fachgebiet Hydroinformatik, wo er die Möglichkeit bekam, in wasserwirtschaftlichen Projekten in Deutschland und im Ausland, dort vor allem in ariden Regionen, mitzuarbeiten. Seit Mai 2009 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur für Wasserwirtschaft und Ressourcenschutz (Universität der Bundeswehr München) bei Herrn Prof. Disse tätig.

Bereits seit Längerem beschäftigt sich Florian Winter mit der journalistischen Aufarbeitung wissenschaftlicher Ergebnisse aus Hydrologie und verwandten Wissenschaften. Im Rahmen eines Fernstudiums absolviert er gerade eine Ausbildung zum Fachjournalisten mit dem Ziel, hydrologische Inhalte verständlich und fachlich korrekt für die interessierte Öffentlichkeit aufzubereiten und darzustellen. Für ihn ist es nicht nur wichtig, dass sich die Hydrologen innerhalb Deutschlands organisieren, sondern, dass auch der Blick auf die globalen Probleme im Fokus des Engagements von Wissenschaft und Praxis steht. Kontakt: Florian Winter, Universität der Bundeswehr München, florian.winter@unibw.de.

G. Strigel

Weitere Informationen zur Fachgemeinschaft finden Sie auf der Webseite der FGHW unter www.fghw.de.

Neue Publikationen

Klimaschutz und Anpassung an die Klimafolgen. Strategien, Maßnahmen und Anwendungsbeispiele

Mahammad Mahammadzadeh, Hendrik Biebler, Hubertus Bardt (Hrsg.)

Institut der deutschen Wirtschaft Köln Medien GmbH, Köln 2009. 310 S., zahlr. Abb. u. Tab., 58,- €

ISBN 978-3-602-14847-9

Das vorliegende Buch stellt die wesentlichen Ergebnisse der klimazwei-Projekte kurz und prägnant vor. Außerdem soll es dazu dienen, das Interesse an den neuen Möglichkeiten zu wecken, die zum Klimaschutz und zur Anpassung an den Klimawandel entwickelt worden sind. Nach Beiträgen der beiden Begleitprojekte vom Institut der deutschen Wirtschaft Köln und der Service Gruppe Anpassung (SGA) werden zunächst die Projekte vorgestellt, welche die Vermeidung von Treibhausgasemissionen zum Ziel haben. Anschließend folgen die Projekte, die eher der Anpassung an ein sich veränderndes Klima dienen. Insgesamt haben rund 230 Autoren an diesem Buch mitgewirkt und dazu beigetragen, die wesentlichen aktuellen Forschungs- und Entwicklungsergebnisse in einem breiten und lesenswerten Überblick zu präsentieren.

(aus: Kapitel Einführung)

Das neue Wasserhaushaltsgesetz (WHG 2010). Einführung mit Gesetzestext, Entsprechungstabelle und Synopse zum alten WHG

Drost, Ulrich

Richard Boorberg Verlag, Stuttgart 2010. 216 S., 23,90 €
ISBN 978-3-415-04411-1

Zum 1. März 2010 tritt das neue, grundlegend umgestaltete WHG vollumfänglich in Kraft. Damit werden auf den Tag genau 50 Jahre WHG als Rahmenrecht und Richtlinienvorgabe für die Länder Geschichte sein. Der Bund hat von seiner – im Zuge der Föderalismusreform erworbenen – Möglichkeit, eine Vollregelung zu treffen, Gebrauch gemacht und das Verhältnis von bundes- und landesrechtlichen Regelungen neu geordnet.

Mit Hilfe der neuen Synopse erkennt der Rechtsanwender sicher die Beziehungen zwischen neuem und altem Recht. Außerdem sieht er schnell, wo das neue WHG tatsächlich Neues regelt und wo es die bestehenden Regelungen übernimmt. Die Synopse verschafft dem Rechtsanwender somit auch die Sicherheit eines Rückgriffs auf bekanntes und über 50 Jahre bewährtes Wasserrecht. Darüber hinaus gibt die Einführung einen systematischen Überblick und thematisiert neue und übernommene Regelungen.

(aus: Mitteilung Richard Boorberg Verlag vom 25. Januar 2010)

Physische Geographie

Alan H. Strahler & Arthur N. Strahler

Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 2009. 4. überarb. Aufl., 688 S., 786 Farbfotos und Grafiken, 69,- € (Reihe – UTB)

ISBN 978-3-8252-8159-5

Das bewährte Lehrbuch der Geographie „Physische Geographie“ erscheint in der vierten, komplett überarbeiteten Auflage.

Das Lehrbuch sammelt die Erkenntnisse aus den Wissenschaften der Atmosphäre, der Hydrologie, der Geowissenschaften, der Bodenkunde, der Ökologie und der Biogeographie. Aus den in besonderer Weise verflochtenen Komponenten dieses breiten Themenspektrums geht eine Physische Geographie hervor, welche die biotischen Gegebenheiten des Planeten Erde zu den abiotischen Gegebenheiten der Umwelt in Beziehung setzt. Schwerpunktmäßig behandelt werden z.B. Luftfeuchtigkeit und Niederschlag, Winde und die globale Zirkulation, Luftmassen und Wettersysteme, Lithosphäre und Plattentektonik sowie fluviale Geomorphodynamik.

(aus: Pressemitteilung Verlag Eugen Ulmer vom 27. Januar 2010)

Veröffentlichung zu Hochwassermarken in Thüringen

Das vom Thüringer Umweltministerium herausgegebene Heft mit dem Thema „Hochwassermarken in Thüringen“ wurde von Dr. M. Deutsch (Erfurt/ Leipzig) und Prof. Dr. K.-H. Pörtge erarbeitet. Es umfasst 104 Seiten und ist mit rund 100 Bildern illustriert. Den ersten Kapiteln mit grundsätzlichen Anmerkungen zu Hochwassermarken sowie zum Markenbestand in Thüringen folgt eine Vorstellung ausgewählter Hochwassermarken. Neben einer tabellarischen Listung mit relativ knappen Angaben zu den landesweit erfassten Marken werden für die Flüsse Saale und Unstrut eingehende Beschreibungen, Fotos sowie Zusatzinformationen zu den Marken und den angezeigten Hochwasserereignissen präsentiert. Abschließend werden Empfehlungen zum Schutz und zur Anbringung neuer Marken gegeben. Die Informationsschrift ist kostenfrei und kann beim Thüringer Ministerium für Landwirtschaft, Forsten, Umwelt und Naturschutz (99096 Erfurt, Beethovenstraße 3, Tel. 0361/3799922) bestellt werden.

(aus: Pressemitteilung Deutsche Wasserhistorische Gesellschaft vom 8. Februar 2010)

Termine

Veranstaltungen der Bundesanstalt für Gewässerkunde

April – November 2010

- Workshop „Pathogene Vibrionen in der marinen Umwelt“; 14./15. April in Koblenz
- 19. Chemisches Kolloquium „Risikobewertung stofflicher Belastungen“; 18./19. Mai in Koblenz
- 2. KLIWAS-Plenum; 8./9. Juni in Koblenz
- 38th IAD Conference „Large River Basins – Danube meets Elbe. Challenges – Strategies – Solutions“; 22.–25. Juni in Dresden
- 3. Workshop „Überwachung der Bundeswasserstraßen auf radioaktive Stoffe“; 14. September in Koblenz
- International Symposium „Genotoxicity in Aquatic Systems. Causes – Effects – Future Needs“; 22.–24. September in Freiburg
- 8. BfG/WSV-Workshop zur Nutzung der Fernerkundung; 8. Oktober in Hamburg
- Workshop „Nanoparticles in water“; 19./20. Oktober in Koblenz
- 13. Gewässermorphologisches Kolloquium „Erfassung und Bewertung des hydromorphologischen Zustandes in Wasserstraßen“; 27./28. Oktober in Koblenz
- 35th EurAqua Management Board Meeting and Symposium „Impact of Climate Change on Water Resources in Europe“; 8.–10. November in Koblenz

Weitere Informationen unter www.bafg.de**Kolloquien der Bundesanstalt für Wasserbau**

April – November 2010

- Forschung im Küstenverkehrswasserbau; 21./22. April in Hamburg
- Herstellung der Fischdurchgängigkeit an Bundeswasserstraßen. Kolloquiumsreihe zum BfG-BAW Verbundprojekt – Hydraulische Grundlagen und Wirkungsanalysen / Modellansätze; 11./12. Mai in Karlsruhe
- Erhaltung von Wasserbauwerken und Brücken; 15./16. Juni in Karlsruhe
- Tiefe Baugruben an Bundeswasserstraßen; 22. Juni in Karlsruhe
- OpenSource-Anwendung für Projekte der Geoinformatik; 28. September in Hannover
- Anforderungen an Baugrundgutachten für die WSV; 30. September in Rissen
- Das Systemverhalten der Ästuar; 7. Oktober in Rissen
- Alternative technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen – Wirkungsweise, Belastbarkeit, Anwendungsmöglichkeiten; 26. Oktober in Hannover
- Einsatz und Ausbau der SAP Benutzerverwaltung; 28. Oktober in Hannover
- Barrierefreie Internetangebote – einfacher Informationszugang für alle; 9. November in Ilmenau
- Neue Fassung des Merkblatts Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD 2010); 10. November in Hannover
- DVtU als gemeinsame kooperative Austauschplattform von Planungsdaten zwischen der Verwaltung und Auftragnehmern im Rahmen von Bauprojekten; 18. November in Ilmenau

Weitere Informationen unter www.baw.de

Flussauen – Maßnahmen und Konzepte zur Erhaltung von Lebensräumen

Abschlussveranstaltung zum EU-LIFE-Projekt „Lebendige Rheinauen bei Karlsruhe“

26./27. April 2010 in Karlsruhe

Information: www.umweltakademie.baden-wuerttemberg.de

Zukunftsfragen Hochwasserschutz

18. Mai 2010 in Düsseldorf

Information: www.fiw.rwth-aachen.de

3. Österreichweiter Erfahrungsaustausch für Hochwasserschutz- und Erhaltungsverbände

Information: www.oewav.at

39. Abwassertechnisches Seminar „Abwasseranlagen – Sanieren, Zentralisieren – Optimieren?“

10. Juni 2010 Universität der Bundeswehr München in Neubiberg

Information: www.wga.bv.tum.de

2. Forum zur Umsetzung der Europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (EU-HWRM-RL)

17. Juni 2010 in Kaiserslautern

Information: www.uni-kl.de/wcms/fww.html

The Water Quality Challenge – Prevention, Wise Use and Abatement

Stockholm Water Week

5.–11. September 2010 in Stockholm, Schweden

Information: www.worldwaterweek.org

Storm Surges Congress 2010 Risk and Management of Current and Future Storm Surges

13.–17. September 2010 in Hamburg

Information: <http://meetings.copernicus.org/ssc2010/home.html>

Global Change and the World's Mountains

International conference

26.–30. September 2010 in Perth, Scotland

Conference aims: To bring together leading scientists and others working in, and concerned with, mountain areas around the world in order to:

- present, evaluate and synthesise progress in our understanding of global change in mountain regions since 2005;
- evaluate progress with regard to the implementation and impacts of the GLOCHAMORE Research Strategy;
- work proactively on a global agenda for research and action relating to global change and mountain regions, taking into consideration global assessment and policy processes, such as those relating to the Inter-Governmental Panel on Climate Change, the UN Framework Convention on Climate Change and the Convention on Biological Diversity, as well as the consideration of mountains by the UN Commission on Sustainable Development in 2012, 20 years after the Rio Earth Summit.

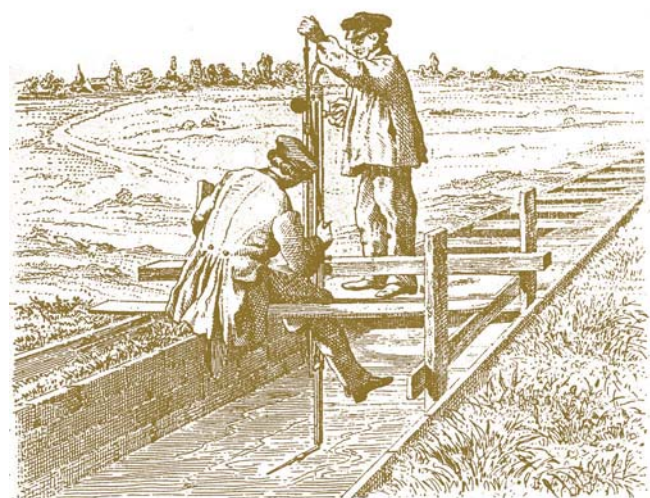
Information: www.perth.uhi.ac.uk/mountainstudies/2010

Erläuterung zur Titelseite

Geschwindigkeitsmessung mit einem Pitot-Rohr

Als Druckmessgeräte wurden schon früh sogenannte hydraulische Rohre verwendet. Eines der bekanntesten Geräte wurde 1732 von Henry de Pitot (1695–1771) entworfen. Dieses Gerät bestand im Wesentlichen aus zwei parallelen und an einem schlanken Stab befestigten Rohren. Das eine Rohr war ein gerades Standrohr, das andere war unten um 90 Grad gegen die Strömung abgekrümmt. Tauchte man den unteren Teil beider Rohre ein, stieg das Wasser in ihnen auf eine unterschiedliche Höhe. Dabei entsprach der Unterschied dem Staudruck in Längeneinheiten Wassersäule. Aus dem erwähnten Unterschied schloss Pitot rechnerisch auf die gesuchte Fließgeschwindigkeit.

Daniel L Vischer, Zürich, Schweiz



Geschwindigkeitsmessung mit einem Pitot-Rohr; verbesserte Version von Philbert Gaspard Darcy (1803–1858) (aus *Recherches Hydrauliques ... entreprises par M.H. Darcy et continuées par M.H. Bazin*, Dunod, Paris 1865, planche IV).