

# **HYDROLOGISCHE MESSNETZE FÜR EINE INTEGRIERTE UND NACHHALTIGE BEWIRTSCHAFTUNG DER WASSERRESSOURCEN**

## **Einleitung**

Am 22. und 23. Oktober 2003 fand an der Bundesanstalt für Gewässerkunde in Koblenz (Deutschland) ein internationaler Workshop mit dem Titel „Hydrological Networks for Integrated and Sustainable Water Resources Management“ statt. Diese Veranstaltung wurde auch zum Anlass genommen, Dr. Karl Hofius, der dem deutschen Nationalkomitee für das Internationale Hydrologische Programm (IHP) und das operationelle hydrologische Programm (OHP) von 1974 bis 2003 als Sekretär vorstand, offiziell in den Ruhestand zu entlassen. Das Ziel des Workshops war einerseits ein Diskussionsforum über hydrologische Netzwerke, deren Entwicklung, momentanen Stand und zukünftige Aspekte zu bieten, andererseits aber auch in Zeiten von sich sowohl in personeller als auch in finanzieller Hinsicht verknappenden Ressourcen, moderne Techniken der Datenerfassung und Datenübertragung mit dem Hintergrund von zu optimierenden Messnetzichten zu beleuchten. Grundsätzlich war der Workshop in drei Einheiten gegliedert, der erste Block befasste sich mit globalen Aspekten, der zweite mit regionalen und der dritte mit nationalen Aspekten von hydrologischen Messnetzen.

## **Globale Aspekte**

Im ersten Block wurde die weltweite Bedeutung hydrologischer Messnetze bzw. momentane Probleme sowohl bei der Neuerrichtung als auch bei der Betreuung und auch Optimierung bereits vorhandener Messnetze präsentiert.

## **Bewertung der weltweiten Wasserressourcen**

Die Bedeutung der Verwendung von hydrologischen Messnetzen für die Bewertung der weltweiten Wasserressourcen ist wesentlicher Bestandteil des „United Nations World Water Assessment Programme (WWAP)“ der UNESCO. In diesem Zusammenhang wurden zwei grundsätzliche Bedürfnisse für die Errichtung und die Betreuung von Messnetzen aufgezeigt, einerseits ist dies das Verständnis von allen Aspekten des Wasserkreislaufes in qualitativer als auch in quantitativer Hinsicht auch unter Berücksichtigung von Trends durch Änderungen in den Einzugsgebieten (Landnutzungsänderungen, anthropogene Einflüsse, etc.), andererseits das Verständnis der Einflüsse der unterschiedlichen Verfügbarkeit und Qualität des Wasser sowohl auf das menschliche Wohlbefinden und deren Entwicklung als auch auf natürliche Ökosysteme. Im „World Water Development Report (WWDR)“ werden die Ergebnisse des WWAP dargestellt. Dabei wird das öffentliche Bedürfnis nach Daten, Information, Wissen und Verständnis über Verfügbarkeit und Qualität von Wasser aufgezeigt, wobei den hydrologischen Messnetzen in diesem Zusammenhang eine wesentliche Rolle zukommt.

Für die Bewertung der Wasserressourcen kommen hydrologischen Messnetzen folgende Aufgaben zu:

- *Überwachung* des momentanen Zustands und möglicher Trends
- *Bewertung* der Gründe eventueller Änderungen

- *Vorhersage* von möglichen Szenarien unter sich ändernden Bedingungen
- *Entscheidungsfindung*, Auswahl von zukünftigen Strategien

Die Verantwortung, dass auch die Öffentlichkeit vom Wissen basierend auf den Messnetzen profitiert, liegt hauptsächlich bei den politischen Entscheidungsträgern aber auch den internationalen Institutionen. In diesem Zusammenhang hat die United Nations University festgestellt, dass der Nutzen der Messnetze abhängig ist von der (personellen und finanziellen) Kapazität, hydrologische Daten zu erheben und zu interpretieren und geeignete Informationen und Produkte basierend auf den Daten aus den Messnetzen zur Verfügung zu stellen.

### **Bedeutung hydrologischer Messnetze**

Weltweit ist der Trend festzustellen, dass zwar bedeutende Geldsummen in die Entwicklung und Errichtung von Wasserversorgungseinrichtungen und Schutzwasserbauten investiert werden, oftmals allerdings nur mit rudimentärem Wissen über hydrologische Zusammenhänge. Dabei wird häufig übersehen, dass dieses Wissen nur so gut sein kann wie die verfügbaren Daten aus den hydrologischen Messnetzen. Nichtsdestotrotz fehlen in vielen Gebieten der Erde geeignete hydrologische Daten, vor allem in großen Teilen Afrikas, wo der Bedarf nach Trinkwasser zwar am stärksten wächst, allerdings nur minimale Möglichkeiten zur Erhebung und Verarbeitung von hydrologischen Daten zur Verfügung stehen. In der Forschung geht die Hydrologie in die Richtung der Entwicklung von Modellen vor allem für Bereiche, wo wenige Beobachtungsdaten zur Verfügung stehen, weit weniger Beachtung wird der Tatsache geschenkt, dass geeignete Systeme für die Erhebung und Weiterbearbeitung hydrologischer Grunddaten geplant und errichtet werden. Die Entwicklung und Optimierung von hydrologischen Messnetzen war bereits Inhalt zahlreicher Publikationen der WMO, allerdings erfordert ein Optimierungsprozess ein bereits vorhandenes Netzwerk an Messstellen bzw. Daten, was in den meisten Fällen nicht vorhanden ist.

Seit etwa 1960 haben die UNESCO und die WMO (World Meteorological Organization) verschiedene gebietsumfassende Programme gestartet, um die Möglichkeiten vor allem von Entwicklungsländern zur Erhebung hydrologischer Daten zu verbessern. In diesem Zusammenhang sollen die wichtigsten Programme angeführt werden:

- „*International Hydrological Programme (IHP)*“: wissenschaftliches hydrologisches Programm
- „*World Hydrological Observing System (WHYCOS)*“: Erhebung und Management von Echtzeitdaten vor allem in datenarmen Regionen
- „*FRIEND*“: Archivierung und Zugriff auf Daten für die Beurteilung verfügbarer Wasserressourcen und für Hochwasserprognosen
- „*GEMS Water*“: Verbesserung der Erhebung qualitativer Daten
- „*Global Water and Energy Cycle Experiment (GEWEX)*“: Beobachtung, Interpretation und Modellierung des Wasser- und Energiekreislaufes in der Atmosphäre, am Festland und in den Meeren besonders im Hinblick auf Klimawandel

Einrichtungen für das Datenmanagement haben dieselbe Bedeutung wie hydrologische Messnetze an sich. In letzter Zeit sind Datenzentren entstanden, wobei das Global Runoff Data Centre in Koblenz, ein Zentrum für Niederschlags- und Klimadaten in Offenbach und ein Zentrum für Grundwasserdaten in Holland zu erwähnen sind. Ebenso wurde von der „*International Association for Hydrological Sciences (IAHS)*“ ein globales Metadatenbanksystem entwickelt, um den Zugang zu großräumigen hydrologischen Daten

über das Internet zu erleichtern. Seit etwa 1980 ist in diesem Zusammenhang ein besorgniserregender Trend in fast allen Regionen der Erde festzustellen, es ist eine Abnahme der Anzahl hydrologischer Beobachtungsnetze zu verzeichnen. In den meisten Fällen sind politische Gründe (Kriegsgebiete, etc.) bzw. der Mangel an finanziellen und personellen Ressourcen die Hauptgründe dafür. Allerdings sind räumlich auch große Unterschiede in der absoluten Anzahl an hydrologischen Messstellen festzustellen, 1994 existierten z.B. in 47 afrikanischen Ländern ca. 5700 Flusspegel, zur gleichen Zeit wurden in 43 europäischen Ländern ca. 20000 Pegel betrieben.

Es ist eine Tatsache, dass ein Bedarf nach hydrologischen Daten bzw. Messstellen dann angemeldet wird, wenn gewisse Ereignisse wie Hochwässer, aber auch Trockenperioden aufgetreten sind. Allerdings sollte auch erwähnt werden, dass weltweit im Schnitt nur ca. 0,1 % sämtlicher wasserwirtschaftlicher Ausgaben für die Erhebung bzw. Bearbeitung hydrologischer Daten investiert werden, ohne sich zu vergegenwärtigen, dass diese Daten die wichtigste Grundlage sämtlicher Planungen darstellen.

## **Regionale Aspekte**

Im Block der regionalen Aspekte wurde auf die Messnetzproblematik am afrikanischen Kontinent eingegangen, weiters wurde das unter der IAHS Schirmherrschaft gestartete Projekt „Prediction in Ungauged Basins (*PUB*)“ vorgestellt sowie das geplante europäische Hochwasserfrühwarnsystem „*EFFS*“ präsentiert.

## **Messnetze in Afrika**

Wie bereits erwähnt, ist die Dichte der hydrologischen Messnetze am afrikanischen Kontinent vor allem im Vergleich zu Europa und Nordamerika sehr gering. Aufgrund der sehr eingeschränkten finanziellen Mittel in fast allen afrikanischen Staaten litten vor allem die hydrologischen Messnetze unter der Philosophie, in wasserwirtschaftlichen Belangen kostendeckend zu denken. Unter diesem Deckmantel wurden die Messnetze in Hinsicht ihrer Kosten beurteilt, ohne jedoch ihren Langzeitnutzen bei der Planung wasserwirtschaftlicher Einrichtungen zu beachten. Das Resultat war eine ständig sinkende Anzahl von Beobachtungsstationen am gesamten Kontinent.

Um diesen Tendenzen entgegenzuwirken, wurde 1993 von der WMO das bereits erwähnte Programm *WHYCOS* ins Leben gerufen, um die Erhebung und den Austausch hydrologischer Daten vor allem in „datenarmen“ Regionen zu unterstützen. Am afrikanischen Kontinent wurden bereits 3 regionale Sub-Programme (*HYCOS*) gestartet, 5 weitere, die vor allem die transnationalen Einzugsgebiete des Kongo, Nil und Chadsee abdecken sollen, stehen vor der Implementierung. Ebenso laufen bereits 2 *FRIEND* Projekte in Südafrika bzw. im Einzugsgebiet des Nils.

Für die zukünftige Entwicklung der hydrologischen Messnetze in Afrika wird es von entscheidender Bedeutung sein, dass Wasserwirtschaftler und Hydrologen die politischen Entscheidungsträger von der grundlegenden Bedeutung durch lange Beobachtungsreihen abgesicherter hydrologischer Daten überzeugen können. Eine Tatsache, die zwar im besonderen auf die Situation in Afrika zutreffend ist, generell jedoch in Zeiten von finanziellen und personellen Restriktionen auf Verwaltungsebenen weltweit Gültigkeit besitzt.

## **Vorhersagen in unbeobachteten Einzugsgebieten( Predictions in Ungauged Basins, PUB)**

PUB wurde als wissenschaftliches Programm von der IAHS initiiert und implementiert. Generelles Ziel dieses Projekts ist, dass hydrologische Vorgänge aufgrund limitierter Informationen in unbeobachteten Einzugsgebieten vorhergesagt werden können unter der Prämisse, damit verbundene Unsicherheiten zu minimieren. Damit hat PUB den Auftrag, notwendige hydrologische Daten zur Verfügung zu stellen, vor allem Durchflussdaten in unbeobachteten bzw. ungenügend beobachteten Einzugsgebieten und die Kapazitäten für moderne Technologien zu schaffen in jenen Gebieten, wo dies notwendig ist. PUB soll eine neue Kultur des „Unsicherheitsbewusstseins“ in der Hydrologie schaffen, wobei es implementiert wurde mit dem pluralistischen Ansatz, dass viele verschiedene Arbeitsgruppen ihre eigenen Ansätze verfolgen unter dem großen Übertitel, die Unsicherheiten in hydrologischen Prognosen zu reduzieren. Dabei ist es nicht Ziel von PUB, bestehende Beobachtungsnetze zu ersetzen, sondern es soll im Gegenteil gezeigt werden, wie wertvoll hydrologische Beobachtungen zur Reduktion von Unsicherheiten in Prognosen sind.

### **Das europäische Hochwasservorhersagesystem (European Flood Forecasting System, EFFS)**

Das „*European Flood Forecasting System (EFFS)*“ ist ein Projekt des 5. EU-Forschungsrahmenprogramms mit dem Ziel, ein europaweites Hochwasserprognosesystem zu entwickeln basierend auf numerischen Niederschlagsprognosen und hydraulischen Modellen und hydrologischen Messwerten. Als Ergebnis wird eine probabilistische Abschätzung der Überschreitungswahrscheinlichkeit von bestimmten Durchflusswerten bis zu 10 Tage im voraus errechnet, flächendeckend für Europa mit einer räumlichen Auflösung von 5 x 5 km, die jedoch bis zu 1 x 1 km reduziert werden kann. Dabei soll das System als Vorhersagetool verstanden werden, was bedeutet, dass Warnungen mit einer bestimmten Vorhersagezeit an die lokalen Organisationen weitergegeben werden, und nicht, dass lokal vorhandenen Vorhersage bzw. Warnsysteme ersetzt werden sollen. Bis zum jetzigen Zeitpunkt wurde das System mit Niederschlagsprognosen von verschiedenen Anbietern erfolgreich getestet. Als Fortsetzung von *EFFS* läuft innerhalb des 6. EU-Rahmenprogramms das Projekt „*European Flood Alert System (EFAS)*“, wo in den nächsten Jahren als Pilotphase in den Einzugsgebieten der Donau und der Elbe ein operationelles Frühwarnsystem basierend auf dem hydrologischen Modell *LISFLOOD* entwickelt wird.

### **Nationale Aspekte**

Innerhalb des Blocks der nationalen Aspekte wurden Beiträge des Deutschen Wetterdienstes über dessen hydrometeorologisches Messnetz, ein Beitrag über die Erhebung qualitativer Gewässerdaten vor dem Hintergrund der Anforderungen der EU-Wasserrahmenrichtlinie, ein Beitrag über die geplante Optimierung eines Pegelnetzes an Oberflächengewässern und ein Optimierungsansatz für Grundwassermessstellen präsentiert.

### **Hydrometeorologische Messnetze**

Die Bedeutung hydrometeorologischer Beobachtungen reicht vom Hochwasserschutz bis zur Dimensionierung der Dachentwässerung, von Bemessungsaufgaben in der Wasserwirtschaft bis zu Vorhersagen und Warnungen für die Öffentlichkeit. Die verschiedenen Anwendungen dieser Daten in der Wasserwirtschaft können grundsätzlich in 4 zeitliche Maßstäbe gegliedert werden:

- *Langzeitbeobachtungen*: Bemessungsaufgaben, Trenduntersuchungen, etc.

- *Echtzeitdaten*: Eingangsdaten in Modelle
- *Vorhersagedaten*: von Stunden bis zu 10 Tagen, speziell für Niederschlag und Schneeschmelzprozesse
- *Klimawandelndaten*: Szenarienuntersuchungen mit Klimamodellen bis 100 Jahre im voraus

Das Niederschlagsbeobachtungsnetz des Deutschen Wetterdienstes (DWD) besteht aus dem konventionellen Netz der Niederschlagsstationen sowie aus dem Netzwerk der Wetterradarstationen. Momentan wird dieses Messnetz grundlegend überarbeitet, wobei vor allem auf die Automation der Stationen, die Fernübertragung, aber auch auf die Datenqualität größter Wert gelegt wird. Zusätzlich zu diesem Basismessnetz des DWD werden vor allem in hochwassergefährdeten Gebieten zusätzliche automatisierte und fernübertragende Niederschlagsstationen von den jeweiligen Ländern errichtet.

Im Projekt „*Routine Procedure for the Online Calibration of Radar Precipitation Data with the Help of Automatic Ground Precipitation Stations (RADOLAN)*“ der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) werden online angeeichte Wetterradarstationen zur Verfügung gestellt. Zukünftige Hauptaufgaben des DWD liegen in einer Vereinheitlichung und Verbesserung des Warnmanagements sowie in einer Verbesserung der quantitativen Niederschlagsprognose. Besonderer Wert wird aber auch auf die Analyse von Langzeitbeobachtungen gelegt, so wurde für das Projekt „*Klimaveränderung und Konsequenzen für die Wasserwirtschaft (KLIWA)*“ das Langzeitverhalten von Lufttemperatur und Gebietsniederschlägen für Bayern und Baden-Württemberg untersucht, wo sich teilweise signifikante Trends zeigten.

### **Erhebung der Gewässergüte vor dem Hintergrund der WRRL**

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie fordert einen „guten Zustand“ der Gewässer (Oberflächenwasser und Grundwasser), wobei dieser gute Zustand hauptsächlich durch biologisch/ökologische Parameter definiert ist. Daher muss für die Beurteilung der Wasserqualität ein neues Monitoring System entwickelt werden bzw. müssen bestehende Systeme neu angepasst werden.

Hauptaufgabe des Monitoring Prozesses ist die Erstellung eines umfassenden Überblicks über den aktuellen Zustand der Gewässer in den definierten Einzugsgebieten. Folgend auf eine erste grundsätzliche Bewertung, die bis Ende 2004 abgeschlossen sein soll, die basierend auf vorhandenen Informationen das Risiko der einzelnen Gewässer bezüglich der Nichterfüllung des Kriteriums „guter Zustand“ einschätzt, soll bis Ende 2006 das neue operationelle Monitoring System eingeführt werden. Dabei sollen bereits bestehende Systeme nicht vollständig ersetzt werden, sondern diese können adaptiert werden, wenn sie gewisse grundsätzliche Schlüsselfunktionen erfüllen. Grundsätzlich sollte das Monitoring aus 3 Stufen bestehen:

- *Überwachungsmonitoring*: überblicksmäßig bis zu 2500 km<sup>2</sup> Einzugsgebietsgröße, Hauptziel: Unterstützung und Validierung der grundsätzlichen Bewertungsphase, Entwicklungsgrundlage für effiziente zukünftige Monitoringprogramme
- *Operationelles Monitoring*: in allen jenen Gewässern, wo in der ersten Bewertungsphase festgestellt wurde, dass der „gute Zustand“ möglicherweise nicht erreicht wird
- *Überprüfungsmonitoring*: in Sonderfällen oder zeitlich begrenzt zwischen Überwachungs- und operationellem Monitoring

Für die räumliche Anzahl bzw. die zeitliche Frequenz des Monitorings werden in der Rahmenrichtlinie nur Minimalrichtwerte vorgegeben und können von den einzelnen Ländern entsprechend der jeweiligen Bedingungen angepasst werden.

### **Optimierung von Messnetzen an Oberflächengewässern**

In Deutschland wird die Errichtung und der Betrieb von Pegelanlagen an Oberflächengewässern durch das von der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) herausgegebene „Handbuch für die Wasserstandsaufzeichnung und Durchflussmessung“ geregelt. Zurzeit existieren auf dem Bundesgebiet ca. 4400 Pegel, 561 davon an den Bundeswasserstrassen. Jedoch ist durch finanzielle und personelle Restriktionen in letzter Zeit der Bedarf entstanden, das vorhandene Messnetz zu optimieren. Bei solchen Optimierungsprozessen setzt man sich allerdings der Gefahr aus, Kostenreduktionen durch die wahllose Reduzierung von Messstellen zu erreichen. Aus diesem Grunde hat die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) ihr gesamtes Messnetz in den letzten 2 Jahren überprüft. Dies wurde in einem schrittweisen Ansatz durchgeführt. Im ersten Schritt wurden sämtliche Pegel der einzelnen Wasser- und Schifffahrtsinstitutionen mittels Fragebogen erhoben, um den Zweck jedes einzelnen Pegels festlegen zu können. Im zweiten Schritt wurden Indikatoren erarbeitet, um die Bedeutung jedes einzelnen Pegels beurteilen zu können. Dieser Evaluierungsprozess ist momentan noch in Bearbeitung, erste Resultate auch über die Anwendbarkeit dieses Ansatzes für andere Länder sollen im nächsten Jahr vorliegen.

### **Optimierung eines Grundwassermessstellennetzes**

Grundsätzlich basiert die Planung von Grundwassermessstellennetzen auf Erfahrungswerten bzw. auch Vermutungen, da die zu beobachtenden Grundwasserkörper nicht von der Oberfläche erkannt werden können. Historisch sind daher Grundwassermessnetze in dieser Weise gewachsen, wobei aufgrund von Nutzungsänderungen immer neue Messstellen entstanden sind, um die damit verbundenen Einflüsse auf das Grundwasser überwachen zu können. Dies führte in vielen Fällen zu räumlich unregelmäßig verteilten Systemen, wobei man durch den wirtschaftlichen Druck in den letzten Jahren zu Kostenreduktionen gezwungen war, was zu Optimierungsüberlegungen führte.

Im gegenständlichen Fall wurde in einem Projekt in der Raab-Tiefebene in Ungarn die Möglichkeit der Optimierung eines bestehenden Grundwassermessstellennetzes untersucht. Dabei wurden statistische Methoden angewandt wie Korrelationsanalysen und geostatistische Ansätze, wobei mittels kombinatorischer Algorithmen die optimale Messnetzkonfiguration ermittelt wurde.

### **Zusammenfassung**

Für eine integrierte Wasserbewirtschaftung müssen alle Komponenten des Wasserkreislaufes sowie Qualität und Menge des benötigten Wassers bekannt sein. Dabei wird der Wasserhaushalt auch entscheidend durch die Landnutzung mitbestimmt, weshalb beide integriert betrachtet werden sollten. Von wesentlicher Bedeutung ist einerseits daher eine einheitliche Datenerhebung, um eine Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten, andererseits ist auch großer Wert auf die Automation der Datenerhebung bzw. die zeitnahe Übertragung der Daten zu legen. Insbesondere für Fragen der Auswirkungen einer möglichen Klimaänderung auf die Verfügbarkeit von Wasser und einer nachhaltigen Bewirtschaftung ist ein gut ausgebautes Messstellennetz von wesentlicher Bedeutung. Deshalb sollten

hydrologische Messnetze auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten nicht nach kurzfristigen Einsparungseffekten bewertet werden, sondern es sollte den Entscheidungsträgern der nachhaltige Nutzen solcher Daten ins Bewusstsein gerufen werden.