



Operationelle Hydrologische Vorhersagen

Tagung vom 14./15. Juni 2010 an der Universität Bern

Programm --- Abstracts

Prévisions hydrologiques opérationnelles

Symposium du 14 -15 juin 2010 à l'Université de Berne

Programme --- Résumés

Montag, 14. Juni 2010

Lundi, 14 juin 2010

Chair: Dr. Adrian Jakob, Präsident Schweizerische Gesellschaft für Hydrologie und Limnologie SGHL

- 13.00 Registrierung -- Enregistrement
13.30 Begrüssung - Bienvenue
Rolf Weingartner, Präsident Schweizerische Hydrologische Kommission CHy

1. Teil Meteorologische Grundlagen für hydrologische Vorhersagen Seite

1^{re} partie Bases météorologiques pour les prévisions hydrologiques page

- 13.40 Deterministische und probabilistische numerische Wettervorhersage mit COSMO; Status und Perspektiven
André Walser, MeteoSchweiz 5
14.05 Variabilität und Unsicherheit der Wettervorhersagen: Erfahrungen aus dem Prognosedienst
Eugen Müller, MeteoSchweiz 6

2^e partie Service opérationnel pour les prévisions hydrologiques

2. Teil Operationeller Betrieb für hydrologische Vorhersagen

- 14.30 Prévisions nationales des débits en Suisse, aujourd'hui et demain
Dominique Bérod, Office fédéral de l'environnement OFEV 7
15.00 La prévision des crues en France : état des lieux et évolutions envisagées
Caroline Wittwer, Service central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la prévision des inondations (SCHAPI), Toulouse 8
15.30 PAUSE
16.00 Uncertainty assessment of ensemble flow forecasts in river flow forecasting: the River Rhine case
Paolo Reggiani, DELTARES -
16.30 Die Hochwasservorhersagezentrale des Landes Baden-Württemberg
Manfred Bremicker, Hochwasser-Vorhersage-Zentrale, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe 9
17.00 Hochwasserwarnung und operationelle Hochwasservorhersage im Bundesland Salzburg.
Hans Wiesenegger, Hydrographischer Dienst Salzburg 10
17.30 Apéro riche

Chair : Dr Dominique Bérod, Chef Division Hydrologie, Office fédéral de l'environnement OFEV

2^e partie (cont.) Service opérationnel pour les prévisions hydrologiques page

2. Teil (Fortsetzung) Operationeller Betrieb für hydrologische Vorhersagen Seite

09.00	Le système MINERVE en Valais Jean-Louis Boillat , LCH – EPFL	11/12
09.30	Prévisions hydrométéorologiques opérationnelles à EDF - Application aux débits du Rhin Suisse Fabienne Taule-Bonnaire , EDF - Centre Hydrométéorologique Alpes	13
10.00	PAUSE	

3. Teil End User Erfahrungen und Ansprüche

3e partie Les utilisateurs: expériences et exigences

10.30	Erfahrungen mit Vorhersagen an der Sihl Matthias Oplatka , Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft des Kantons Zürich	-
11.00	Anwendung von hydrologischen Prognosen für die Gewässerregulierung im Kanton Bern Bernhard Wehren , Amt für Wasser und Abfall AWA, Kanton Bern	14
11.30	Erfahrungen mit hydrologischen Vorhersagen aus Sicht der Grossschifffahrt Peter Sauter , Schweizerische Rheinhäfen	15
12.00	Mittagspause mit Stehlunch -- Buffet	

Chair: Prof. Dr. Rolf Weingartner, Präsident der Schweizerischen Hydrologischen Kommission CHy

4^e partie Recherche et développement dans le domaine des prévisions hydrologiques

4. Teil Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der hydrologischen Vorhersagen

13.15	Verifikation von Abflussvorhersagen des Bundesamtes für Umwelt BAFU und der Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL Robert Diezig , Bundesamt für Umwelt BAFU	16
13.45	Semi-operationelle Modellierung von Schneewasserressourcen in der Schweiz Tobias Jonas , WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF	17
14.15	Innovative Forschung für die operationelle Hydrologie mit dem hydrologischen Modell PREVAH: Meilensteine seit 2005 und Perspektiven bis 2012 Massimiliano Zappa , Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL	18
14.45	Robuste Methoden zur Unterstützung der Hochwasser-Warnung in kleinen Einzugsgebieten Jan Schwanbeck , Geographisches Institut der Universität Bern	20
15.15	PAUSE	
15.45	Weiterentwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten des Hydrologischen Modells WaSiM Jörg Schulla , Hydrology Software Consulting	21
16.15	Unsichere hydrologische Prognosen – Problem oder Möglichkeit? Jan Seibert , Geographisches Institut der Universität Zürich	22
16.45	Datenbank-gestützte Echtzeit-Kartographie für das Hochwassermonitoring Christophe Lienert , Kartographisches Institut der ETHZ und GIUB	23
17.15	Erfrischung und Schluss der Veranstaltung -- Clôture du symposium	

Deterministische und probabilistische numerische Wettervorhersagen mit COSMO: Status und Perspektiven

André Walser, MeteoSchweiz

Das Wettervorhersagemodell COSMO wurde vom gleichnamigen Konsortium bestehend aus den nationalen Wetterdiensten von Deutschland, Schweiz, Italien Griechenland, Polen, Rumänien und Russland entwickelt. Ziel von COSMO ist die gemeinsame Entwicklung und Verbesserung dieses nicht-hydrostatischen Modells, sowohl für den operationellen Einsatz wie auch für die Forschung. Das Modell ist geeignet, um Vorhersagen auf verschiedenen Skalen zu erstellen, von der konvektions-auflösenden Kurzzeitvorhersage bis zu Ensemble-Mittelfristvorhersagen. Das COSMO-2 der MeteoSchweiz verwendet einen Gitterabstand von 2.2 km über dem Alpenraum, und ist damit dasjenige operationelle COSMO Modell mit dem feinsten Rechengitter. Mit einem solchen Gitter werden die grösseren Alpentäler aufgelöst und dieses erlaubt, die Konvektion explizit zu berechnen anstelle diese zu parametrisieren. COSMO-2 ist ein Vorhersagetool für die kommenden 24h und liefert alle drei Stunden eine neue deterministische Prognose.

Die ungenaue Kenntnis des aktuellen Zustandes der Atmosphäre und Vereinfachungen innerhalb des Modells können grosse Auswirkungen auf den Verlauf der Wettervorhersagen haben. Diese vorhandene Unsicherheit wird in Ensemble-Vorhersagen berücksichtigt, indem viele Vorhersagen mit leicht unterschiedlichen Anfangsbedingungen und Modellstörungen in der Physik berechnet werden. Die einzelnen Vorhersagen sollen den Raum der möglichen Szenarien aufspannen. COSMO-LEPS ist ein solches Ensemble-Vorhersagesystem und rechnet in der aktuellen Konfiguration 16 Ensemble Member über Europa mit einem Gitterabstand von 7 km. Dieses System liefert täglich Prognosen bis fünf Tage in die Zukunft zur Abschätzung der Vorhersagesicherheit und für Wahrscheinlichkeitsvorhersagen.

Der Trend Richtung höheren Modellauflösungen wird unweigerlich weitergehen, um in den Berechnungen einerseits die Topographie und Bodencharakteristiken noch genauer abzubilden zu können und andererseits kleinskalige Prozesse explizit - und dadurch zuverlässiger - rechnen zu können. Je kleiner die vorhergesagten Skalen jedoch werden, desto wichtiger wird die Betrachtung der Vorhersagbarkeit. Deswegen wird die Bedeutung von Ensemble-Vorhersagen zwangsläufig weiter zunehmen. Die Strategie innerhalb von COSMO sieht denn auch vor, in den kommenden fünf Jahren folgende Schwerpunkte zu setzen:

- neues, ensemble-basiertes Datenassimilationssystem auf der konvektiven Skala
- Ensemble-Vorhersagesystem für die konvektive Skala
- Entwicklung eines COSMO Modells mit einem Gitterabstand von ~1 km

Das neue Assimilationssystem basierend auf einem Ensemble-Kalmanfilter erleichtert die Assimilation zusätzlicher Beobachtungsdaten und liefert neben der Analyse, welche den Ist-Zustand der Atmosphäre abbildet, auch deren Unsicherheit, die für ein Ensemble-Vorhersagesystem benötigt wird. Die Herausforderungen bei der Entwicklung eines COSMO-1 liegen in der steilen Topographie und in den Anpassungen der Parametrisierungen, insbesondere in der Turbulenzbehandlung. Diese Entwicklungen werden angetrieben durch die Erwartungen, damit in den Schlüsselvorhersagegrössen Wolkenbedeckung, bodennahe Winde, Temperatur und Feuchte sowie dem quantitativen Niederschlag weitere Fortschritte zu erzielen und andererseits auf der konvektiven Skala zuverlässige Wahrscheinlichkeitsvorhersagen erstellen zu.

Variabilität und Unsicherheit der Wettervorhersagen: Erfahrungen aus dem Prognosedienst

Eugen Müller, MeteoSchweiz

In den letzten Jahren und Jahrzehnten wurden die numerischen Wettermodelle laufend verbessert und verfeinert. Konnte man in den 1980er Jahren verlässliche Prognosen nur auf 3 bis maximal 5 Tage erstellen, so ist man heute bei 7 Tagen. Trotz ihrer Komplexität stellen diese Modelle aber immer noch eine starke Vereinfachung der realen Atmosphäre und ihrer Prozesse dar. Heute stehen dem operationellen Wetterdienst von MeteoSchweiz drei globale und zwei lokale Modelle mit unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung zur Verfügung.

Die Vielzahl verschiedener Modelle sowie ihre alle 3 bis 12 Stunden durchgeführten Berechnungen können zu mehr oder weniger unterschiedlichen Ergebnissen für einen bestimmten Gültigkeitstermin führen. Diese Variabilitäten in der Wettervorhersage müssen von den Meteorologen laufend analysiert werden, um daraus die wahrscheinlichste Wetterentwicklung für die nächsten Tage zu prognostizieren. Abhängig von der Grösse der Variabilität nimmt in der Regel auch die Vorhersagbarkeit oder Prognosezuverlässigkeit zu oder ab.

Dabei bewährt sich die Ensemble-Methode mit ihren angehängten statistischen Auswertungen besonders gut. Denn aus der Streuung der verschiedenen Members („Spread“) kann relativ zuverlässig auf die Prognoseunsicherheit geschlossen werden. Bei der Variabilität zwischen nachfolgenden Modellläufen für einen bestimmten Termin („Jumpiness“) ist der Zusammenhang mit der Vorhersagbarkeit hingegen gering.

Die Interpretation von Modelldaten verlangt nebst Erfahrung auch Kenntnisse über die einzelnen numerischen Modelle sowie ihren Stärken und Schwächen (keine Black Box). Da die Modelle laufend weiterentwickelt werden und abhängig von der Wetterlage unterschiedlich reagieren, sollte kontinuierlich die Modellperformance überwacht werden, dies besonders im Hinblick auf Extremereignisse. Eine besondere Berücksichtigung bei der Modellinterpretation von Niederschlägen verlangt die Modellorografie, die sich auch bei hoch aufgelösten Modellen immer noch von der realen Topografie unterscheidet, vor allem bei kleineren Einzugsgebieten.

Prévisions nationales des débits en Suisse, aujourd'hui et demain

Dominique Bérod, Office fédéral de l'environnement OFEV

La prévision nationale des débits en Suisse est en passe de connaître un essor historique grâce à la décision du 26 mai 2010 du Conseil Fédéral d'allouer les ressources nécessaires à la prévention des dangers naturels par des mesures organisationnelles.

Sur la base d'un système conçu dans les années 1940 et institutionnalisé en 1986 comme appui à la navigation à Bâle, un service de prévisions des crues a été développé sur le bassin du Rhin. Ce service a montré son potentiel lors des crues de 2005 et 2007 en Suisse, mais également ses limites.

Grâce aux ressources accordées, l'Office fédéral de l'environnement va pouvoir répondre aux nouveaux enjeux de la protection contre les dangers naturels, s'agissant en particulier de l'émission d'alertes aux autorités et à la population. En particulier, le Service de prévisions des débits va devoir se développer sur tout le territoire Suisse, améliorer constamment la précision et la fiabilité de ses produits, pour finalement s'intégrer dans le système fédéral d'alertes, d'entente avec ses nombreux partenaires.

Ces développements devront permettre de répondre au mieux aux besoins sur le plan national, en étroite collaboration avec les actions cantonales. L'amélioration des prévisions de débits, axée principalement sur la gestion des crues, ne négligera pas pour autant les autres enjeux liés à l'eau, à l'exemple de la prévision des étiages. L'OFEV pourra dans ce cadre notamment s'appuyer sur les projets de recherche du PNR 61, démarrés en mars 2010.

Une période réjouissante, mais pleine de défis, s'ouvre ainsi pour les prévisions des débits en Suisse. Un gage de réussite sera la qualité de la collaboration entre tous les partenaires impliqués.

La prévision des crues en France : état des lieux et évolutions envisagées

Caroline Wittwer, Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations (SCHAPI) ; Ministère de l'Ecologie, Energie, Développement Durable et de la Mer (MEEDDM) ; caroline.wittwer@developpement-durable.gouv.fr

Après les inondations catastrophiques des années 90 et début 2000, les différents ministères français impliqués dans la gestion de la crise ont mis en évidence que le dispositif en place devait être amélioré pour obtenir une meilleure anticipation des événements, mieux coordonner les actions, et disposer des données de terrain plus rapidement.

En 2003, le ministère en charge du développement durable s'est alors engagé dans la réorganisation des services de prévision des crues et d'hydrométrie. Un réseau, formé de 22 services de prévision des crues régionaux (SPC) et d'un centre national (SCHAPI), a été mis en place pour réunir dans une même structure toutes les entités qui doivent échanger des compétences et du savoir faire sur le comportement des bassins versants, permettre un partage et une mise à disposition des informations plus efficaces et rapides en temps de crise, partager les procédures, rentabiliser les investissements.

Ce réseau de la prévision des crues et de l'hydrométrie, qui compte environ 450 agents, fournit toutes les informations scientifiques et techniques aux préfets, responsables de la sécurité des biens et des personnes, pour qu'ils puissent déclencher l'alerte. Ces informations sont aussi transmises en direct aux services de la sécurité civile, en charge de la coordination des moyens de secours.

La procédure dite de vigilance, déjà utilisée pour informer les acteurs de la gestion de crise et le public du niveau de risque lié à l'aléa météorologique, a été étendue aux crues. Un linéaire de cours d'eau d'environ 20 000 km est surveillé par l'Etat. Le niveau de risque, au cours des prochaines 24 heures, est signalé par un code couleur – vert, jaune, orange, rouge - et évalué deux fois par jour (et plus en temps de crise) pour quelques 250 tronçons. La carte et le bulletin, au niveau national et pour les 22 services régionaux, sont publiés sur le site internet www.vigicrues.gouv.fr, qui permet également l'accès aux données temps réel des limnigraphes. Diverses méthodes sont utilisées pour élaborer la vigilance (abaques, temps de réponse des bassins versants, modèles simples, modèles avec prévision d'ensemble météorologique...) et plus d'une dizaine de types de modèles hydrologiques et hydrauliques permettent d'obtenir des prévisions plus précises au droit des stations situées dans les zones les plus soumises au risque d'inondation.

Le système de vigilance est en constante évolution pour prendre en compte les besoins des gestionnaires de crise. Depuis 2007 par exemple, les vigilances météorologique et crues sont réunies au travers d'un nouveau pictogramme « pluie-inondation ». Plusieurs améliorations sont déjà en cours d'étude, comme l'affichage des prévisions aux stations, la prévision des zones inondées, l'extension du réseau surveillé aux petits bassins versants soumis au risque de crues rapides.

Die Hochwasservorhersagezentrale des Landes Baden-Württemberg

- Gesamtübersicht und Informationen zur HVZ-Vorhersage für den Oberrhein -

Manfred Bremicker, Hochwasser-Vorhersage-Zentrale, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe

Die Hochwasservorhersagezentrale (HVZ) der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg bündelt im Hochwasserfall aktuelle Informationen und macht sie den zuständigen Verwaltungsstellen, der betroffenen Bevölkerung sowie den Medien zugänglich.

Die HVZ-Informationen umfassen aktuelle Wasserstands- und Abflussdaten für rund 210 Pegel in Baden-Württemberg und angrenzenden Flüssen sowie Wasserstands- und Abflussvorhersagen für rund 90 Pegel an Bodensee, Oberrhein, Neckar, Main und Donau sowie an deren wichtigsten Nebenflüssen. Weiterhin werden Hochwasserlageberichte sowie Informationen zum Niederschlagsgeschehen in Baden-Württemberg veröffentlicht. Die HVZ-Daten werden im Routinebetrieb einmal täglich und bei Hochwasser stündlich aktualisiert.

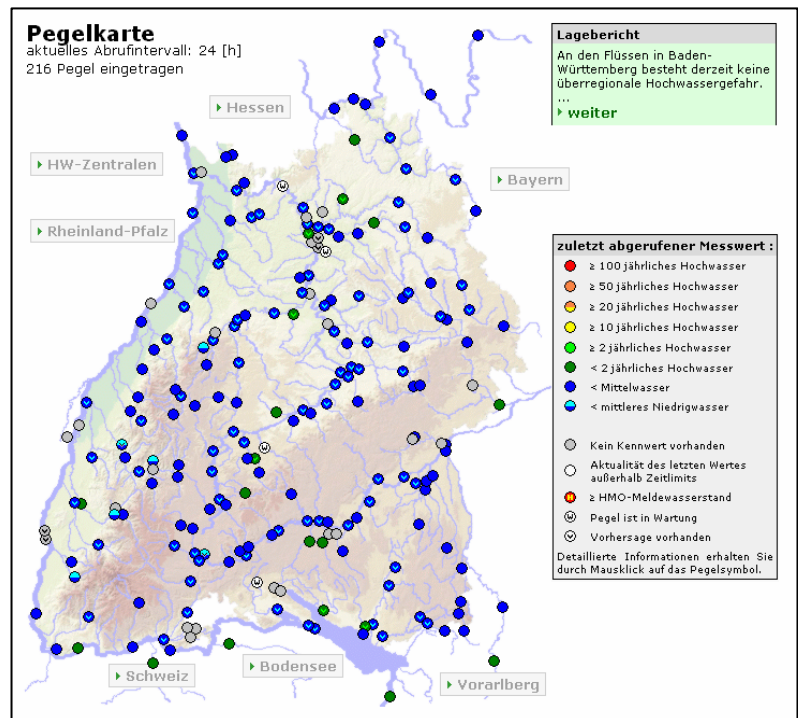
Die länderübergreifende Wasserstandsvorhersage für den Bodensee erfolgt in Kooperation mit dem schweizerischen Bundesamt für Umwelt und dem Amt der Vorarlberger Landesregierung. Die HVZ-Vorhersage für den Oberrhein von Basel bis Mannheim ist ein Bestandteil der länderübergreifenden Zusammenarbeit der Vorhersagezentralen am Rhein von der Schweiz bis in die Niederlande.

Im Einsatzfall berechnet die HVZ stündlich aktuelle Hochwasservorhersagen für die Oberrheinpegel Breisach, Kehl-Kronenhof, Maxau, Speyer und Mannheim. Bei einem Einsatz der Retentionsmaßnahmen am Oberrhein wird darin die Wirkung der aktuell im Einsatz befindlichen Maßnahmen berücksichtigt. Dies erfolgt in enger Abstimmung mit den jeweiligen Betreibern der Retentionsmaßnahmen in Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz und Frankreich.

Die pegelbezogenen HVZ-Informationen werden durch ein Hochwasserfrühwarnsystem für kleine Einzugsgebiete ergänzt. Über dieses System werden im Internet landkreisbezogene Informationen zur Hochwassergefahr in kleinen Einzugsgebieten veröffentlicht, die alle 3 Stunden automatisiert aktualisiert werden.

Die Bereitstellung der Informationen erfolgt über Intranet und Internet (www.hvz.baden-wuerttemberg.de, www.bodensee-hochwasser.info, www.hochwasserzentralen.de) sowie, in z.T. reduziertem Umfang, über Videotext und über automatische Telefonansage. Eine Internetseite für Smartphones ist unter www.hvz.baden-wuerttemberg.de/pda.html erreichbar.

Kontakt: HVZ@LUBW.BWL.DE



Hochwasserwarnung und operationelle Hochwasservorhersage im Bundesland Salzburg

Hans Wiesenegger, Hydrographischer Dienst Salzburg

Hochwasserwarnung hat im Bundesland Salzburg eine lange Tradition. Bereits vier Jahre nach Gründung des Hydrographischen Dienstes und unter dem Eindruck des großen Septemberhochwassers 1897, wurde am 23. Februar 1899 ein „Provisorisches Regulativ für den Hochwassernachrichtendienst im Herzogthume Salzburg“ eingeführt.

Die Bewohner der Landeshauptstadt Salzburg wurden im Jahre 1900 gemäß „Vorschrift für die Hilfeleistung bei Hochwassergefahr in der Stadt Salzburg“ durch einen Kanonenschuss von der Festung Hohensalzburg gewarnt.

Heute bildet das Wasserrechtsgesetz 1959 mit der im § 59 i enthaltenen Bestimmung: "der Landeshauptmann von Salzburg für die Verbreitung von hydrographischen Nachrichten insoweit zu sorgen hat, als dies unter anderem auch für die Abwehr von Gefahren für Leben und Eigentum notwendig ist", die rechtliche Basis für den Arbeitsauftrag.

Um diesem Auftrag bestmöglich nachkommen zu können, ist eine genaue und möglichst weit vorausschauende Kenntnis der Niederschlags- und Abflussentwicklung im Einzugsgebiet der Salzach - mit einem Gesamteinzugsgebiet von 6728 km² der größte Fluss Salzburgs und hydrologisch gesehen, ein schnell fließender Gebirgsfluss mit Gletschereinfluss - notwendig. Der ursprüngliche Auftrag der "Hochwasserwarnung" wurde zur Aufgabe der "Hochwasservorhersage" erweitert.

Größere Hochwässer treten an der Salzach vor allem bei Nordweststaulagen und nach mehrtägiger, großflächiger Überregnung meist im Zeitraum Juli bis September, seltener aber auch im November und Dezember auf. In diesem Zeitraum ist daher eine permanente Hochwasserbereitschaft beim Hydrographischen Dienst eingerichtet.

HYDRIS (Hydrologisches InformationsSystem zur Hochwasservorhersage im Einzugsgebiet der Salzach) unterstützt die diensthabenden Hydrologen durch die automatisierte Erstellung von Wasserstands- und Durchflussvorhersagen für die Salzach und ihre wichtigsten Zubringern bei der Arbeit.

HYDRIS ist seit 1996 operationell in Betrieb, die aktuelle Ausbaustufe verwendet ein kontinuierliches, "semidistributed" Wasserhaushaltsmodell (COSERO), welches an der BOKU Wien (IWHW) entwickelt wurde und durch ein hydrodynamische Modell (Flux/ Floris) ergänzt wird. In 15 Minuten Abständen werden unter Verwendung von INCA -Niederschlagsvorhersagen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geo-dynamik (ZAMG) in unterschiedlichsten "workflows" Prognosen erstellt und ein Vorhersagezeitraum von maximal 72 Stunden abdeckt. Operationell werden jedoch aufgrund der kurzen Laufzeiten nur 4 bis 6 Stunden Vorhersagen veröffentlicht, die längerfristigen Prognosen dienen der Hochwasserfrühwarnung bzw. der Information von Einsatzkräften.

Die Modellergebnisse dienen dem Hydrographischen Dienst als Entscheidungsgrundlage für Hochwassermanagementmaßnahmen aber auch zur Steuerung der Kraftwerkskette "Mittlere Salzach", die von den beiden HYDRIS II Partner Austrian Hydro Power (AHP) und Salzburg AG betrieben wird.

Die Salzach ist zudem ein maßgeblicher Zubringer des Inns, auf Basis einer Vereinbarung im Rahmen des Regensburger Vertrages wird eine enge Zusammenarbeit mit Bayern (LFU München) und Oberösterreich gepflogen und fließen Beobachtungswerte sowie Berechnungsergebnisse in die Inn- bzw. Donauvorhersagemodelle ein.

Hochwasserbewirtschaftungssystem MINERVE im Wallis

Jean-Louis Boillat, Javier García Hernández & Anton J. Schleiss; Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ; jean-louis.boillat@epfl.ch , javier.garciahernandez@epfl.ch , anton.schleiss@epfl.ch

Die Hochwasser der Jahre 1987, 1993 und 2000 im Rhoneeinzugsgebiet oberhalb des Genfersees haben deutlich aufgezeigt wie wichtig das Risikomanagement bezüglich Überschwemmungen ist. Zudem konnte die erhebliche Retentionswirkung der Stauseen der Speicherkraftwerke beobachtet werden, welche die Hochwasserspitzen deutlich reduzieren können. Unter der Voraussetzung einer verlässlichen Interpretation der meteorologischen Vorhersagen und somit der Erkennung von potentiell schädlichen Unwetterereignissen ist es möglich frühzeitig Präventivmassnahmen zu ergreifen.

Das MINERVE-Projekt verfolgt eine zweigleisige Strategie der präventiven Hochwasserbewirtschaftung sowie der Alarmauslösung. Es stützt sich auf ein numerisches hydrologisches Simulationsmodell, das durch Messungen und meteorologischen Vorhersagen gespeist wird. Die Simulationsergebnisse erlauben, über eine allfällige Alarmauslösung zu entscheiden und die entsprechenden Massnahmen im angekündigten Katastrophenfall zu koordinieren. Das Rechenmodell verfügt zusätzlich über ein Entscheidungshilfemodul, welches präventive Turbinier- und Absenkszenarien zur Optimierung der Regulierung der Speicherseen vorschlägt.

Zur Modellierung wird das Einzugsgebiet der Rhone in 239 Teileinzugsgebiete einer durchschnittlichen Fläche von 23 km² unterteilt so dass die zahlreichen Fassungen der Wasserkraftwerke nachgebildet werden können. Für die Regen-Abflussberechnung in jedem Teileinzugsgebiet wird das an der EPFL entwickelte GSM-Socont-Modell verwendet.

Die Teileinzugsgebiete sind ihrerseits in Höhenbänder unterteilt, welche es erlauben zwischen vergletscherten oder unvergletscherten Bereichen zu unterscheiden. Jedes hydrologische Höhenband ist mit einem nivalen Modell ausgestattet, das die zeitliche Entwicklung von Dicke und Sättigungsgrad der Schneedecke abbildet. Dazu werden die stündlichen Niederschläge und Temperaturen im Schwerpunkt jedes Höhenbands bestimmt.

Die Schneeschmelze verursacht einen äquivalenten Niederschlag, der, im Falle eines unvergletscherten Höhenbandes ein Grundwasser- und Oberflächenabflussmodell speist. Letzteres ist in zwei parallele Speicher unterteilt, welche eine langsame und eine schnelle Abflussbildung am Austrittsquerschnitt nachbilden. In einem vergletscherten Höhenband wird zusätzlich nach Abschmelzen der Schneedecke ein zur Gletscherschmelze äquivalenter Niederschlag pro Speicher zum Austrittsquerschnitt geleitet.

Im Rahmen des MINERVE - Projektes wurde auch das Computerprogramm Routing System II entwickelt welches hydrologisch-hydraulische Simulationen in komplexen Einzugsgebieten mit hydraulischen Anlagen erlaubt. Basierend auf meteorologischen Daten können Abflussvorhersagen ermittelt werden sowie die präventiven Bewirtschaftung der Wasserkraftanlagen optimiert werden.

Das Projekt MINERVE wird mit der Unterstützung vom Bundesamt für Umwelt, der Dienststellen für Strassen- und Flussbau sowie für Energie und Wasserkraft des Kanton Wallis und der Dienststelle für Gewässer, Boden und Abwasser des Kantons Waadt entwickelt. MeteoSchweiz liefert die meteorologischen Vorhersagen und die Kraftwerksgesellschaften die notwendigen Kennzahlen und Betriebsdaten ihrer Anlagen. Für die wissenschaftlichen Entwicklungen sind die beiden Institute für Ökohydrologie (ECHO) und für Wasserbau (LCH) an der EPFL, sowie das Institut für Geomatik und Risikoanalyse (IGAR) an der UNIL verantwortlich.

[Texte français au verso](#)

Le système MINERVE en Valais

Jean-Louis Boillat, Javier García Hernández & Anton J. Schleiss; Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL) ; jean-louis.boillat@epfl.ch , javier.garciahernandez@epfl.ch , anton.schleiss@epfl.ch

Sur le bassin versant supérieur du Rhône, en amont du Léman, les crues de 1987, 1993 et 2000 ont rappelé l'importance de la gestion du risque d'inondation. Ces événements majeurs ont aussi démontré la capacité de rétention et de régulation des grands barrages à laminer significativement les pointes de crues sur le réseau hydrographique. Considérant qu'une interprétation adéquate des prévisions météorologiques permet d'identifier les intempéries potentiellement dommageables, il devient possible d'organiser des interventions préventives appropriées pour gérer le risque.

Le projet MINERVE poursuit le double objectif de gestion préventive des crues et de déclenchement d'alarme. Il s'appuie sur un modèle numérique de simulation hydrologique basé à la fois sur les mesures et sur les prévisions météorologiques. Les résultats prévisionnels permettent de décider du déclenchement d'alarme et de coordonner les actions en cas de catastrophe annoncée. Le modèle de calcul est également doté d'un outil d'aide à la décision qui propose des scénarios de turbinage et de vidange préventifs dans le but d'optimiser l'effet de laminage des retenues.

Pour la modélisation, le bassin versant du Rhône est discrétisé en 239 sous-bassins versants d'une superficie moyenne de 23 km², de manière à tenir compte des nombreux ouvrages de captage des aménagements hydroélectriques. Le concept hydrologique, utilisé pour calculer les débits à l'exutoire de chaque sous bassin, se base sur le modèle GSM-Socont développé à l'EPFL.

Les sous-bassins versants sont répartis en régions glaciaires et non glaciaires, découpées en bandes d'altitude. Chaque unité hydrologique est couverte d'un modèle nival, qui permet de suivre l'évolution temporelle de la hauteur et du degré de saturation de la couche de neige. Les précipitations et températures horaires sont estimées à cet effet au centre de gravité de chaque bande d'altitude.

La fonte de neige produit une pluie équivalente qui, dans le cas d'une bande non glaciaire, alimente le modèle d'infiltration et de ruissellement. Ce dernier est composé de deux réservoirs parallèles produisant respectivement les composantes lente et rapide de l'écoulement. Sur une bande glaciaire, la pluie équivalente résultant de la fonte de neige est transférée à l'exutoire par un réservoir. Lorsqu'il n'y a plus de neige, un modèle de fonte de glace produit un débit qui est également transféré par l'intermédiaire d'un réservoir.

Le projet MINERVE a favorisé la genèse d'un outil numérique de simulation hydrologique et hydraulique, Routing System II. Celui-ci permet la modélisation semi-distribuée des prévisions de débit, basées sur les prévisions météorologiques. Un modèle d'aide à la décision pour la gestion préventive des aménagements hydroélectriques complète cet outil.

Le projet MINERVE est développé en partenariat par l'Office Fédéral de l'Environnement, les Services des Routes et Cours d'Eau, de l'Energie et des Forces Hydrauliques du Canton du Valais et par le Service des Eaux, Sols et Assainissement du Canton de Vaud. MétéoSuisse fournit les prévisions météorologiques et les sociétés hydroélectriques communiquent les informations relatives à leurs aménagements. Les développements scientifiques sont confiés à deux entités de l'EPFL, le Laboratoire d'Écohydrologie (ECHO) et le Laboratoire de Constructions Hydrauliques (LCH), ainsi qu'à l'Institut de Géomatique et d'Analyse du Risque (IGAR) de l'UNIL.

Prévisions hydrométéorologiques à EDF

Fabienne Taule-Bonnaire et Damien Puygrenier, EDF - Division Technique Générale

Depuis près de 50 ans maintenant EDF étudie, mesure et cherche à prévoir l'aléa climatique dans son ensemble. Au sein de l'unité DTG « Division Technique Générale » EDF développe des compétences en hydrologie, climatologie et prévisions météorologiques à des fins :

- de surveillance et d'anticipation des phénomènes extrêmes ayant une incidence sur la sûreté des moyens de production (hydraulique, nucléaire et thermique) et des moyens de transports de l'électricité
- de gestion et d'optimisation à moyen et long termes des moyens de production à disposition. Ces activités s'appuient sur une organisation adaptée, 100 personnes, dont les 2/3 animent un réseau d'observations au sol de 450 pluviomètres et températures, 200 points de mesure de neige, 400 points de mesures de débits, et une centaine de points de mesures de paramètres environnementaux.

Ces informations, télétransmises pour les $\frac{3}{4}$ d'entre elles, sont stockées et complétées d'observations Radar et satellites et de données de modèles provenant de METEO France ; elles permettent l'élaboration quotidienne de bulletins régionaux d'information à J et J+1 par les prévisionnistes à destination des exploitants et centres d'optimisation des moyens de production EDF.

Ces synthèses sont prolongées sur les 4 jours suivants par des prévisions hydrologiques issues d'expertise de modèles météorologiques et de l'exploitation de modèles hydrologiques.

En cas d'évènements climatiques critiques – crues, tempêtes, neige collante, orages –, les prévisionnistes d'EDF assurent une surveillance en temps réel et continue 24h/24 de l'événement, actualisant régulièrement l'information. En temps de crue, les prévisions hydrologiques quotidiennes sont partagées avec le SCHAPI et les SPC conformément au protocole d'échange d'informations.

Dans cette activité, le Rhin occupe une place particulière : à l'issue de son parcours suisse, le Rhin circule sur la frontière franco-allemande, à travers 10 aménagements hydro-électriques au productible très important de 9TWh par an (soit 10% de la production hydraulique EDF). Il est donc naturellement surveillé en permanence et fait l'objet de prévisions de productible moyen journalier à 7 jours a minima 2 fois par semaine.

Les dernières crues démontrent le rôle majeur des aménagements de l'Aar dans l'écrêtement des crues et qu'au-delà de ces valeurs de débits maîtrisés, tout reste possible, impliquant alors la responsabilité des acteurs internationaux aval dans la maîtrise de ces crues. Dans ce contexte, les informations de prévision de l'OFEV disponibles librement sur internet, et les prévisions temps réel qu'EDF met à disposition des acteurs aval tel le HVZ de Karlsruhe, pourraient être davantage partagées entre spécialistes.

Anwendung von hydrologischen Prognosen für die Gewässerregulierung im Kanton Bern

Bernhard Wehren, Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern, Abteilung Gewässerregulierung

Das Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern ist für die **Regulierung der Seen im Berner Oberland** (Thuner- und Brienersee) sowie für diejenige der **Jurarandseen** (Murten-, Neuenburger- und Bielersee) zuständig. Die Regulierung erfolgt anhand von sogenannten Linienreglementen, welche den Abfluss aus dem jeweiligen See in Abhängigkeit der Jahreszeit und des aktuellen Seestandes bestimmen. Durch Umsetzung dieser Vorgaben werden die Ansprüche und Interessen aus vielen verschiedenen Bereichen berücksichtigt (Natur, Fischerei, Schifffahrt, Wasserkraft, Erholungsnutzung, etc.).

Die Erfahrungen aus den grossen Hochwasserereignissen von 1999, 2005 und 2007 haben aufgezeigt, dass **Optimierungen der Seeregulierung im Hochwasserfall** nötig und möglich sind. Für beide Seensysteme im Kanton Bern wurden deshalb in Ergänzung zu den bestehenden Reglementen neue vorausschauende Regulierinstrumente entwickelt, welche eine frühzeitige Seeabsenkung vor einem sich abzeichnenden Hochwasserereignis erlauben. Diese beiden unterschiedlichen prognostischen Instrumente umfassen die folgenden wesentlichen Merkmale:

- > **Berner Oberlandseen:** Basierend auf aktuellen Messwerten (Zuflüsse, Niederschlag, Schneelage und Seestand) bzw. anhand von Meteowarnungen wird eine aktuelle Hochwasser-Gefahrenstufe (Grün, Orange, Rot) für das Einzugsgebiet des Thunersees definiert. Diese gibt gleichzeitig den Soll-Pegel vor, auf welchen der See in den nächsten Stunden und Tagen und falls nötig unter Einsatz des Hochwasserentlastungsstollens in Thun abgesenkt wird.
- > **Jurarandseen:** Die Kriterien für die sogenannte «Prognoseregulierung» werden aus der Zuflussprognose in den Bielersee des BAFU abgeleitet. Sobald sich auf Grund dieser Berechnungen ein starker Anstieg des Bielersees ankündigt, wird der Ausfluss aus dem Bielersee innerhalb klar vorgegebener Randbedingungen erhöht. Damit kann das Rückhaltevolumen der Juragewässer vergrössert werden.

Beide Ansätze sind **abgestimmt auf die Grösse und die Reaktionszeit der jeweiligen Einzugsgebiete**. Für das wesentlich grössere Einzugsgebiet der Jurarandseen stehen heute operationell verfügbare Zuflussprognosen des BAFU mit genügender Genauigkeit zur Verfügung. Dies ist für die beiden Seen im Berner Oberland noch nicht der Fall. Deshalb basiert das dort eingesetzte Instrument vorwiegend auf Messwerten bzw. auf der Kombination derselben.

Diese rasch umsetzbaren organisatorischen Massnahmen ermöglichen eine Optimierung der bestehenden Reguliersysteme, stellen jedoch keinen Ersatz für die Notfallplanung der Seeanstösser und der Unterlieger zur Begrenzung allfälliger Schäden dar. Weiteres **Entwicklungspotential** besteht in erster Linie bei den Abflussprognosen für die grösseren Seezuflüsse (z.B. Kander, Simme, Lüschine). Ziel bleibt, das Hochwassermanagement sowohl im Berner Oberland als auch für die Jurarandseen weiter zu optimieren.

Erfahrungen mit hydrologischen Vorhersagen aus Sicht der Grossschifffahrt

Peter Sauter, Schweizerische Rheinhäfen, Schifffahrt und Hafenbetrieb

Bedeutung der HW-Vorhersage und der Pegelstationen für die Rheinschifffahrt:

- HW hat Einfluss auf Schleusen, Seitenflüsse, Brückendurchfahrten (Durchfahrtshöhe), Abladetiefen Schiffe, Staustufe Märkt
- Eine sichere Schifffahrt steht im direkten Zusammenhang mit zuverlässigen Pegelraten und einer möglichst genauen HW-Vorhersage.

Abladetiefe der Schiffe

- Die Abladetiefe richtet sich nach dem aktuellen Pegelstand. Mit der HW-Vorhersage kann ein Trend für das Beladen angezeigt werden, was für die Entscheidung des Schiffsführers hilfreich ist.

Lichte Durchfahrtshöhe bei HSW

- Anhand Beispiel Mittlere Rheinbrücke – Kurze Begriffserklärung.

Pegelstationen und HW-Marken für die Grossschifffahrt:

- Die Daten von 3 Pegelstationen (Rheinhalle, Klingental, Hafen) werden regelmässig, im 15-Minuten-Takt, auf www.port-of-switzerland.ch aktualisiert.
- Wichtige HW-Marken sind „Basel bis Mittlere Rheinbrücke“ und „Mittlere Rheinbrücke bis Rheinfelden“ sowie „Grand Canal d’Alsace“.

Revierzentrale (RVZ)

- Bei Hochwasseralarm im 24-Std.-Betrieb besetzt!!!
- Verkehrsüberwachung Stromabschnitt Rheinfelden – Basel.
- Auslösung der Alarmierung aufgrund HW-Vorhersage von Pol, FW, SRH-intern, NIF-Sécurité-Meldung.
- Melde- und Informationssystem Binnenschifffahrt (MIB) – Notfallorganisation.
- Sperrung Gross- und Kleinschifffahrt.

Historische HW-Vorhersage

- Meldung Pegel BS-Rhf >690 cm: „Wir nahmen die Meldung „nicht ernst“...!“

HW-Vorhersage BAFU

- Wichtige Informationen für die Schifffahrt.
- Entscheidungsgrundlage für FW, Pol, Zivilschutz, KKO.
- Zeitfaktor: je früher je besser.

Analysen HW-Vorhersagen von 1995 und 1999

FAZIT

- HW-Vorhersage ist ein grosser Gewinn.
- Sicherheit durch frühzeitige Massnahmen (z.B. Personalplanung, Sandsäcke).
- Hilfe Entscheidungsfindung Aufgebot von FW und Zivilschutz.

Verifikation von Abflussvorhersagen des Bundesamtes für Umwelt BAFU und der Eidg. Anstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Robert Diezig¹, Felix Fundel², Simon Jaun² und Stephan Vogt¹

¹ Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern, Schweiz

² Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL), Birmensdorf, Schweiz

Ziel der Studie war eine systematische Auswertung der hydrologischen Vorhersagen im Rahmen von MAP D-PHASE (Zappa et al. 2008) für die Periode vom Juni 2007 bis Dezember 2008. Hierzu wurde eine Analyse und Interpretation der Güte von auf verschiedenen meteorologischen Modellen basierenden Abflussvorhersagen des BAFU und der WSL durchgeführt. Dadurch sollte der Nutzen der verwendeten Modelle sowie die Güte der Vorhersagen quantifiziert werden. Auf der Seite des BAFU wurde das hydrologische Modell HBV verwendet, wobei auch zahlreiche Reforecasts gerechnet werden mussten. Die WSL rechnete die hydrologischen Vorhersagen mit PREVAH. Folgende meteorologischen Modelle standen zur Verfügung: COSMO-7, COSMO-2 und COSMO-LEPS. Beim BAFU wurden die Vorhersagen zusätzlich noch mit ECMWF und einer korrigierten Version von COSMO-7 gerechnet. Es musste ein Verifikationstool programmiert werden, welches die Verifikation von Abflussvorhersagen überhaupt ermöglicht. In einem solchen Verifikationsskript sollten alle wichtigen Gütemasse vereinigt werden. Da für die Evaluation von Abflussvorhersagen verschiedenste Ansätze möglich sind, mussten geeignete Ansätze definiert werden.

Folgende Ansätze wurden für die Leadtime-abhängige Analyse gewählt: Grafische Analyse von Zeitreihen (Chained Plots), Analyse aller Stundenwerte, Analyse 24h-Maxima, Analyse Einzelereignis. Es wurde eine grosse Anzahl Scores berechnet, welche verschiedene Aspekte der Güte von Vorhersagen repräsentieren. Als Basis dienten jeweils Paare von Messwert und vorhergesagtem Wert. Die Analysen wurden vom BAFU und von der WSL für 9 ausgewählte Abflussmessstationen durchgeführt. Zusätzlich wurde ein Vergleich der Simulationen und Vorhersagen mit PREVAH (WSL) und HBV (BAFU) für drei gemeinsame Stationen gemacht. Einen guten Überblick über die verwendeten Scores geben folgende Quellen: Wilks (2006), WWRP/WGNE (2010), NOAA (2010) und MetEd (2010). Als Warnschwellen wurden in den meisten Fällen die im Rahmen von MAP D-PHASE definierten Schwellen benutzt.

An dieser Stelle können nur einige allgemeine Erkenntnisse aufgeführt werden:

- Es ist nicht möglich eine generelle Empfehlung auszusprechen, bei welcher Station welches Modell besser abschneidet. Je nach Ansatz, Methodik, Vorhersagezeitraum und betrachteter Station hat das eine oder andere Modell besser abgeschnitten. Die Unterschiede zwischen den betrachteten Stationen sind viel grösser als die Unterschiede zwischen den einzelnen Vorhersagen einer Station.
- Die Vorhersagen mit dem hoch aufgelösten COSMO-2-Modell sind nicht generell besser als die anderen Vorhersagen. Bei einigen Gütekriterien schneiden die COSMO-2-Vorhersagen bei der Analyse der 24h-Maxima jedoch für einzelne Stationen für den ersten Vorhersagezeitraum (0-24h) besser ab als die Vorhersagen mit den anderen meteorologischen Modellen (beispielsweise weniger Fehlalarme).
- Die Güte der Vorhersagen nimmt generell mit zunehmendem Vorhersagezeitraum ab. Häufig nimmt die Güte vor allem vom Zeitraum 0-24h zum Zeitraum 24-48h stark ab.
- In Zukunft wäre eine routinemässige, periodische Evaluation der Vorhersagen anzustreben. Auftretende Hochwasserereignisse und Fehlalarme sollten zudem jeweils kurz analysiert und dokumentiert werden.

Referenzen:

MetEd. 2010. COMET Program. Module: Introduction to Verification of Hydrologic Forecasts. Internetseite: http://www.meted.ucar.edu/topics_hydro.php , Zugriff: 13.04.2010.

NOAA. 2010. Space Weather Prediction Center: Forecast Verification Glossary. Internetseite: http://www.swpc.noaa.gov/forecast_verification/Glossary.html , Zugriff: 13.04.2010.

Wilks, D. 2006. Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Atmosph. Sc., Academic Press, San Diego, 2006.

WWRP/WGNE. 2010 Joint Working Group on Forecast Verification Research. Internetseite: <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification/> , Zugriff 13.04.2010.

Zappa, M., Rotach, MW., Arpagaus, M., Dorninger, M., Hegg, C., Montani, A., Ranzi, R., Ament, F., Germann, U., Grossi, G., Jaun, S., Rossa, A., Vogt, S., Walser, A., Wehrhan, J., Wunram, C. 2008. MAP D-PHASE: Real-time demonstration of hydrological ensemble prediction systems. Atmospheric Science Letters, 2: 80-87. DOI: 10.1002/asl.183.

Semi-operationelle Modellierung von Schneewasserressourcen in der Schweiz

Tobias Jonas, Luca Egli, Christoph Marty, Jan Magnusson

WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung SLF

In der Schweiz gibt es gegen 300 Standorte, an denen im Winter mindestens 1x täglich die Schneehöhe (HS) gemessen wird. Dagegen stehen nur vergleichsweise wenige Messungen des Schneewasseräquivalents (SWE) zur Verfügung, nämlich 14-tägige Messungen von weniger als 40 Standorten. Eigentliche automatische Messnetze für schneehydrologische Daten gibt es in der Schweiz nicht.

Um die vielen Schneehöheninformationen für schneehydrologische Fragestellungen nutzbar zu machen, haben wir in einem ersten Schritt ein Modell entwickelt, mit dem sich SWE aus HS ausrechnen lässt. Dieses Modell basiert auf der Analyse von über 11000 Schneeprofilen, die im Laufe der letzten fünf Jahrzehnte in der Schweiz gemessen wurden. Es ermöglicht die relativ hochaufgelösten Schneehöheninformationen in der Schweiz in SWE-Informationen umzurechnen.

Diese Technik machen wir uns zu Nutze um für die operationellen Lagebeurteilungen des BAFU im Bezug auf die Hochwassersituation im Frühling regelmässig SWE Karten in 1km Auflösung beizusteuern. Eine ganze Reihe von methodischen Entwicklungen, die in diesem Beitrag vorgestellt werden, steckt in der Produktion dieser Karten. Einerseits wurden verbesserte Interpolationsverfahren für Schnee entwickelt. Ausserdem werden gemessene SWE sowie operationelle Satelliteninformationen zur Schneebedeckten Fläche in die Produkte integriert. Eine flexible Datenassimilierung ermöglicht es zudem, Probleme durch die Veränderungen der Datenverfügbarkeit über die Jahre / Jahreszeiten hinweg weitgehend abzufangen.

Innovative Forschung für die operationelle Hydrologie mit dem hydrologischen Modell PREVAH: Meilensteine seit 2005 und Perspektiven bis 2012

Massimiliano Zappa, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Am 3. Mai 2005 fand an der WSL in Birmensdorf die Fachtagung über "Hydrologische Einzugsgebietsmodellierung Ergebnisse und Anwendungspotential für die Praxis" statt. Dazumal wurde mit mehreren Beiträgen gezeigt, wie sich das hydrologische Modell PREVAH zwischen 1994 und 2005 zu einem kompletten Modellsystem für die Erforschung des hydrologischen Kreislaufes entwickelte. Zu den demonstrierten Anwendungen fehlten operationelle Applikationen. Dieser Beitrag berichtet über die Entwicklung in der operationellen Anwendung von PREVAH seit dieser Tagung.

Seit Anfangs 2005 bestrebt die WSL, unter der Bezeichnung "IFKIS-HYDRO", die Realisierung von regionalen (Hochwasser-)Frühwarnsystemen für Sommernaturgefahren voranzutreiben. Diese Systeme sollten komplementär zu den vorhandenen Warnsystemen, die der Bund bereits für das Grosseinzugsgebiet des Alpenrheins betreibt, eingesetzt werden. Dazu wurde PREVAH an eine operationelle Datenkette gebunden und für den operationellen Betrieb weiterentwickelt. Bereits im Herbst 2005 konnte die erste Anwendung in Form eines Tools für die Echtzeitsimulation der Abflüsse der Linth an den Kanton Glarus übergeben werden. Das "prevahrealtime" Tool konnte und kann jederzeit ein aktuelles Datenpaket herunterladen und erlaubt die Eingabe der Wettervorhersage für die kommenden Tage durch eine Eingabemaske. Mehrere Szenarien können in wenigen Minuten durchgerechnet und als Entscheidungshilfe berücksichtigt werden. Das Tool ist immer noch in Betrieb, wurde aber seit 2007 von weiteren Umsetzungen von PREVAH "überholt".

Im Rahmen des MAP D-PHASE Projektes und der COST Aktion 731 brachten die ETH und die WSL eine komplexe Daten- und Modellkette zur operationelle Anwendung. Seit April 2007 wird PREVAH täglich für deterministische und probabilistische Abflussvorhersagen betrieben. Gegenwärtig werden Vorehersagen für über 25 Einzugsgebiete (30 bis 2000 km² Fläche) durchgeführt. In diesen 3 Jahren wurden sehr viele Forschungsarbeiten mit diesen operationellen Daten verfasst, die sich mehrheitlich auf die Verifikation solcher neuen Vorhersagenprodukte konzentrierten.

Ebenfalls seit April 2007 betreiben die WSL und die MeteoSchweiz eine weltweit immer noch einzigartige operationelle Datenkette, wo die Unsicherheit des Niederschlagsradars als probabilistisches Feld durch PREVAH stündlich propagiert wird. Der Einsatz von solchen probabilistischen Produkten für die Echtzeitvorhersage ist Teil von neuen Forschungsarbeiten zur die Quantifizierung der Unsicherheiten beim Anfangszustand einer Abflussvorhersage. Datenassimilation, Unsicherheitsfortpflanzung (und Unsicherheitsüberlagerung), Kalibrierung und statistische Nachbearbeitung der Vorhersagen sind die Schlagwörter für die künftigen Forschungsarbeiten zu diesem Thema. Die WSL bearbeitet diese neuen Fragenstellungen mit PREVAH in Rahmen des EU-Projektes IMPRINTS (2009-2012).

Weitere bevorstehende Entwicklungsschritte zielen auf das andere Extrem der Abflussganglinie. Im Rahmen des neuen NFP61 Programm des SNF ("Nachhaltiger Wassernutzung") startete in Januar 2010 das multidisziplinäres Forschungsprojekt DROUGHT-CH zur Früherkennung von kritischer Trockenheit. Die WSL bestrebt die Weiterentwicklung von PREVAH für die Erstellung von "saisonalen" Vorhersagen mit Schwerpunkt auf Wasserressourcen (Knappheit) und Niedrigwasser. Eine erste operationelle Implementierung ist 2012 zu erwarten.

Die Paradeanwendung von PREVAH verbindet MAP D-PHASE mit IFKIS HYDRO in die operationelle Datenkette welche die WSL seit September 2008 für den Kanton Zürich (AWEL) und die SBB (Baustelle Durchmesserlinie Bahnhof Löwenstrasse) betreibt. Mit diesem Auftrag wurde vermehrt klar, dass eine deutliche Verbesserung und weitere Entwicklungen in der Kommunikation von probabilistischen Hochwasservorhersagen nötig sind. Ständig werden neue Visualisierungen und Tools für eine verbesserte Darstellung und Interpretation der Vorhersagen entwickelt, getestet und operationell frei geschaltet. Es werden unter anderem Tafeln dargestellt, welche die Persistenz einer Warnung von Tag zu Tag darstellen. Zeitversetzte "Ensembles" von

regelmässig aufdatierten, deterministischen Vorhersagen werden endnutzerfreundlich dargestellt. Auch die komplexen und verwirrenden "Spaghetti-Plots" werden innovativ verarbeitet, damit möglich ist, die Unsicherheit in der Höhe und im Zeitpunkt des Auftretens einer Abflussspitze zu visualisieren und zu interpretieren. Letztlich, liefert die IFKIS HYDRO SIHL Modellkette seit September 2009 in Echtzeit Daten und Vorhersagen an GIN, die neue gemeinsame Informationsplattform für Naturgefahren des Bundes.

Der Erfolg dieser operationellen Anwendungen von PREVAH motivierte die WSL und das BAFU zu einem gemeinsamen Umsetzungsprojekt, welches dazu führen wird, dass PREVAH ab Sommer 2010 als zusätzliches Vorhersagemodell in das "Flood Early Warning System" FEWS der BAFU operationell integriert wird. Vorerst werden in FEWS die Einzugsgebiete der Sihl und der Linth berechnet. Somit schliesst sich für die WSL im 2010 der in Jahr 2005 gestarteten Entwicklungszyklus von IFKIS-HYDRO.

Die WSL sammelt seit 2005 Erfahrung im Betrieb von PREVAH als einzigartiges operationelles Forschungsmodell. Der operationelle Betrieb eines Niederschlags-Abfluss Modells wie PREVAH ist für eine Forschungsinstitution wie die WSL keine Selbstverständlichkeit. Der Umgang mit operationellen Daten ist ein Dauerauftrag von und für die Endkunden, welche grundsätzlich eine Betreuung der Systeme rund um die Uhr verlangt. Die WSL hat diese spannende Herausforderung angenommen. Denn nur wer selber eine operationelle Vorhersage betreibt, ist auch in der Lage die Bedürfnisse in der Praxis, das Defizit der Modelle und die Wissenslücken zu spüren und somit passende Forschungsarbeiten aufzugleisen.

Für die Antworten der spannenden Forschungsfragen fehlen leider meistens lange Reihen von operationellen Ergebnissen, um eine robuste Statistik der Modellfehler zu berechnen. Die uns derzeit zur Verfügung stehenden drei Jahre sind darum erst der Anfang einer noch sehr langen Reise. Wir sind auf der richtigen Spur.

Robuste Methoden zur Unterstützung der Hochwasser-Warnung in kleinen Einzugsgebieten

Jan Schwanbeck und Rolf Weingartner, Oeschger Centre for Climate Change Research und Geographisches Institut der Universität Bern

Hochwasser sind wiederkehrende Naturereignisse, während denen der Wasserstand in einem Gewässer deutlich über das langjährige Mittel ansteigt. Treffen Hochwasser auf menschlichen Siedlungsraum, entstehen häufig Schäden, deren Ausmass aber bei rechtzeitiger Warnung vermindert werden kann. Die dazu notwendigen Hochwasservorhersagen werden in grossen und zunehmend auch in mittelgrossen Einzugsgebieten mittels komplexer, auf deterministischen hydrologischen Modellen aufbauenden Abflussvorhersagesystemen ermittelt.

Für die hier betrachteten kleinen Einzugsgebiete (< 200 km²) mit ihren typischerweise sehr kurzen Reaktions- und Fliesszeiten lassen sich solche Vorhersagesysteme aber aus verschiedenen Gründen noch nicht optimal einsetzen. So können beispielsweise zeitliche und räumliche Ungenauigkeiten in den Niederschlagsdaten, welche für grosse Einzugsgebiete unbedeutend sind, bei kleinen Einzugsgebieten grosse Fehler in den modellierten Abflüssen verursachen. In der Regel nehmen diese Unsicherheiten in den Niederschlagsinformationen mit kleiner werdendem Vorhersagezeitraum ab, so dass die besten Informationen oft erst sehr kurzfristig vor einem Ereignis zur Verfügung stehen.

In diesem Beitrag werden zwei Ansätze zur Unterstützung der Hochwasser-Warnung in kleinen Einzugsgebieten vorgestellt und erste Validierungsergebnisse diskutiert. Beide Methoden verwenden das deterministische hydrologische Modellsystem PREVAH (Precipitation Runoff Evapotranspiration Hydrotopes based modelling system [1]).

Bei der ersten Methode, welche Informationen zur zeitlich variablen Hochwasserdisposition bereitstellt, berechnet das hydrologische Modellsystem in Echtzeit die Abflussganglinie eines mittelgrossen Einzugsgebiets und zusätzlich auch räumlich differenziert Kenngrössen des Gebietszustands. Auf diese Weise liegen Informationen über den jeweiligen Gebietszustand auch für kleinere Teilgebiete innerhalb dieses mittelgrossen Einzugsgebiets vor. So kann der Füllstand des Bodenfeuchtespeichers als Indikator für die Vorgeuchte im Einzugsgebiet verwendet werden. Zur Interpretation der Modell-Bodenfeuchte dient ein Referenzdatensatz, der mittels einer Langzeitsimulation (z.B. 1983–2009) mit demselben Modell erzeugt wird. Mit diesen Informationen kann die lokale Hochwasserdisposition qualitativ abgeschätzt werden.

Die zweite Methode baut auf einem „Flash-Flood-Guidance“ – Konzept [2] auf. Mit Niederschlagsszenarien unterschiedlicher Dauer (1–24h) und schrittweise zunehmender Intensität wird das täglich mit meteorologischen Messdaten nachgeführte deterministische hydrologische Modellsystem PREVAH für eine Periode von 24 Stunden wiederholt angetrieben. Die Steigerung der Niederschlagsintensität je Dauerstufe erfolgt dabei so lange bis ein kritischer Schwellenwert des Abflusses überschritten wird. Nach dieser Simulation sind kritische Niederschlagsintensitäten für unterschiedliche Ereignisdauern bekannt und stehen als Niederschlagsintensitäts-Diagramm zur Verfügung. Diese kritischen Niederschlagsintensitäten lassen sich mit prognostizierten und gemessenen Niederschlägen vergleichen und erlauben damit eine Beurteilung der Situation.

Literatur

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

[2] NORBIATO, D.; BORGA, M.; DEGLI ESPOSTI, S.; GAUME, E.; ANQUETIN, S. (2008): Flash flood warning based on rainfall thresholds and soil moisture conditions: An assesment for gauged and ungauged basins. J. of Hydrology, 362: 274-290

Weiterentwicklungen und Anwendungsmöglichkeiten des Hydrologischen Modells WaSiM

Jörg Schulla, Hydrology Software Consulting, Zürich, Schweiz, www.wasim.ch

Das hydrologische Modell WaSiM (Wasserhaushalts-Simulations-Modell) wurde in seiner ersten Version 1994 bis 1997 an der ETH Zürich entwickelt. Das Ziel war, ein räumlich und zeitlich hochauflösendes Modell zu schaffen, mit dessen Hilfe der Einfluss des Klimawandels auf den Wasserhaushalt der Einzugsgebiete (vornehmlich im Schweizer Mittelland) abgeschätzt werden kann. Die Philosophie des Modells war und ist, dass durch den Einsatz massstabgerechter, möglichst physikalisch begründeter Algorithmen bei entsprechender räumlicher und zeitlicher Auflösung eine Prozessmodellierung möglich wird, die gleichzeitig keine wesentlichen Einschränkungen des Einsatzgebietes (aufgrund der Datenlage) mit sich bringen. So wurden verschiedene Ansätze für Verdunstung, Schneeschmelze und Bodenwassermodellierung implementiert welche je nach Datenlage eingesetzt werden können. WaSiM modelliert alle vertikalen und die meisten lateralen hydrologischen Prozesse auf einem Raster und in diversen Layern (Vegetation, Boden-Horizonte, Grundwasser), in den meisten Teilmodellen wird intern ein geeigneter Zeitschritt gewählt, um die physikalischen Prozesse adäquat abbilden zu können. Die dafür notwendigen Computerressourcen können durch OpenMP und MPI-Parallelisierung effizient genutzt werden.

Die Weiterentwicklungen zwischen 1997 und heute hatten zum einen das Ziel, bessere Ansätze zu implementieren (Beispiel: Topmodel-Ansatz wurde durch Richards-Ansatz ersetzt) und zum anderen wurden sehr viele Spezialmodule implementiert, die nicht unbedingt in jeder Anwendung eingesetzt werden müssen (Beispiel: Grundwassermodell, Surface Routing, Gletscher oder dynamische Phänologie). Die wesentlichen Erweiterungen der letzten Jahre sind:

- 2-Wege-Kopplung mit externen Modellen, z.B. Grundwassermodell oder Klimamodelle
- Boden-Horizonte und Mehrschicht-Landnutzungen beliebig variabel konfigurierbar
- dynamische Phänologie, Makroporen
- Oberflächen-Routing und Verschlammung
- dynamischer Zeitschritt im Bodenwassermodell (Richards) und im Seenmodell
- Permafrost-Modul (Tauen und Gefrieren des Bodens incl. Einfluss auf Bodenmodell)
- verschiedene Interpolationsmethoden beliebig regional kombinierbar
- Parallelisierung (OpenMP- und MPI-Versionen)
- Kopplung mit FEWS (Floos Early Warning System) für operationellen Vorhersage-Einsatz

Aktuell in Arbeit befindliche oder geplante Erweiterungen betreffen:

- dynamisches Gletschermodell (Wachsen und Schrumpfen der Gletscher wird modelliert)
- dynamischer Zeitschritt im Grundwassermodell (kleinskalige Anwendungen oder starke Gradienten)
- Temperaturmodellierung für den Boden (gekoppelt an Richards-Ansatz) und Gewässer
- erweitertes Permafrostmodell
- verbessertes Stofftransportmodul (incl. Isotopenfraktionierung, differenzierterer Transport)

Beispiele für aktuelle Modellanwendungen sind:

- Schweiz: Emmegebiet, Einbindung in das Hochwasservorhersagesystem des BAFU
- Kanada: Upper Columbia River (University of Columbia, BC), Climate Change Projections incl. Gletschermodellierung; 10'000 km², 1d-Zeitschritt, 500m Raster)
- USA/Alaska: Arktischer Permafrost (0.3 km², sehr kleinskalig, 1m Raster, 1s-1h Zeitschritt, 1cm Bodenschichten, sehr flaches Gebiet)
- insgesamt > 60 Institutionen weltweit nutzen das Modell auf allen Kontinenten (ausser Antarktis)

Weitere geplante Anwendungen sind:

- USA/Alaska: Anwendung auf ganz Alaska (Gletscher, Permafrost) in Zusammenarbeit mit der University of Alaska Fairbanks UAF und dem Internat. Arctic Research Institute IARC
- weitere Anwendung in arktischen Permafrost-Gebieten mit neuen Permafrostmodellen
- Kanada: Erweiterung des bestehenden Modells auf ein grösseres Gebiet des Columbia Rivers und Einbindung des dynamischen Gletschermodell

Unsichere hydrologische Prognosen – Problem oder Möglichkeit?

Jan Seibert, Geographisches Institut der Universität Zürich

Streamflow estimation for ungauged basins remains a challenge in hydrological modeling. In this presentation recent studies on the value of limited data, such as taking a few streamflow measurements, to reduce modeling uncertainties are presented. The general approach is to use well-instrumented catchments, but to pretend that these are ungauged, and to use different subsets of the available data for constraining runoff models for simulations in these 'ungauged' basins (Seibert and Beven, 2009). This approach has been used for different subsets including streamflow data, groundwater observations, glacial mass balances and expert knowledge ('soft data'). We found that a few measurements can contain a considerable fraction of the entire information content of continuous runoff time series and that surprisingly little observation data were necessary to identify model parameterizations that provided good results. However, results also indicated that results may differ significantly between catchments and also depend on the time for which measurements were assumed to be available. We also found that ensemble predictions clearly outperformed predictions using single parameter sets.

Furthermore, the approach of limited stream gauging was combined with regionalization. For two groups of monitored catchments, one in Sweden and one in Switzerland, a collection of regional parameter sets for a simple catchment model was compiled by selecting behavioral parameter sets from the individual catchments. In a second step then one catchment at a time was treated as 'ungauged' and streamflow for this catchment was estimated based on selected regional parameter sets. This selection was based on model evaluations for different sub-sets of streamflow observations on a few days. In other words these sub-sets consisted of a limited number of single runoff measurements and represent data that could be measured with limited efforts in an ungauged basin. Results indicated that a few runoff measurements could help selecting better parameter sets in a few catchments, whereas in most catchments the regional ensemble predictions already were good and did not further improve by the added information.

Seibert, J. and Beven, K., 2009. Gauging the ungauged basin: how many discharge measurements are needed? *Hydrology and Earth Science Systems*, 13, 883-892.

Datenbank-gestützte Echtzeit-Kartographie für das Hochwasser-monitoring

Christophe Lienert, Institut für Kartografie ETHZ und Geographisches Institut, Universität Bern; lienertc@ethz.ch

Am Beispiel einer praxisnahen, datenbankgestützten kartografischen Anwendung für die operationelle Hydrologie werden neue Methoden der Modellierung, des Zugangs und der Visualisierung von hydrologischen Echtzeitdaten vorgestellt. Das Design der Anwendung wird behandelt, welches ein raumzeitliches Datenbankmodell und verschiedenen interaktive Visualisierungsmöglichkeiten in einer web-basierten kartografischen Benutzeroberfläche umfasst. Im Hochwassermonitoring werden leicht verfügbare Echtzeitdaten benötigt, um Überblicke zu verschaffen, aber auch um detailliertere raumzeitliche Zusammenhänge zu erkennen. Solche Daten müssen aufbereitet präsentiert werden, damit in kritischen hydrologischen Situationen Zeit für schadensminimierende Massnahmen gewonnen werden kann.

Dementsprechend erfordert ein Echtzeitsystem Abläufe, in welchen Akquisition, Speicherung, (Vor-)verarbeitung, kartografische Visualisierung und Archivierung der Daten automatisch bewerkstelligt werden. Sowohl aktuelle und historische Messdaten, als auch Vorhersagedaten müssen so gespeichert werden, damit sie über ihren Wert, Raum- oder Zeitbezug zu visualisieren. Raumzeitliche Daten werden heute bevorzugt in Datenbankmanagementsystemen gehandhabt. Dies gilt insbesondere für Vektor- und numerische Messdaten auf welche in der Folge mit serverseitigen Funktionen grundlegende kartografische Abstraktionen und Regeln angewendet werden können, bevor sie über das Internet den Benutzern im Webbrowser als vektorbasierte interaktive Kartensymbole ausgegeben werden. Wenn die in Echtzeit gelieferten Daten ein Rasterformat aufweisen, können auch sie vor deren Visualisierung modifiziert und mit interaktiven Funktionen versehen werden, um kartografischen Ansprüchen besser zu genügen. Eingebettet in eine kartografische Benutzeroberfläche wird dem Benutzer der Zugang zu den Echtzeitdaten durch drei Modi ermöglicht: (1) Durch das Monitoring können auf unterschiedlichen Detaillierungsgraden entweder schnell und umfassend oder detaillierter und kleinräumiger die Echtzeit- und Vorhersagedaten exploriert werden. (2) Das Rückverfolgen eines Hochwasserereignisses soll dem Kartenbenutzer die Möglichkeit geben, dessen raum-zeitliche Dynamik besser zu verstehen. Mittels animierten Kartenbildern wird darauf abgezielt, die zeitliche Dimension klarer hervorzuheben. (3) Das Vergleichen von der aktuellen oder vorhergesagten Datenlage und den darauf basierten Kartenbildern mit den Daten aus dem eigens dafür aufgebauten Archiv bezweckt, aus vergangenen Ereignissen lernen zu können und daraus Rückschlüsse auf das aktuelle hydrologische Geschehen zu ziehen.

Die kartografische Benutzeroberfläche ist für alle drei genannten Modi mit Funktionalitäten ausgestattet, die es dem Benutzer erlauben einfach und möglichst intuitiv zu navigieren. Mit interaktiven Methoden lassen sich Informationsdichte, -gehalt und das Layout der Karten vom Benutzer frei wählen. Die Kartenbilder lassen sich auf diese Weise von operationellen Hydrologen situativ, nach individuellen Bedürfnissen generieren und im Hochwassermonitoring gezielter einsetzen.

