Online Frühwarnung und Vorhersage : ein Treffen von Echtzeitkartografie und Hochwasserhydrologie

Autor(en): **Lienert, Christophe / Weingartner, Rolf / Hurni, Lorenz**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Geomatik Schweiz : Geoinformation und Landmanagement = Géomatique Suisse : géoinformation et gestion du territoire = Geomatica Svizzera : geoinformazione e gestione del territorio**

Band (Jahr): **107 (2009)**

Heft 12

PDF erstellt am: **02.06.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-236648

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Online Frühwarnung und Vorhersage

Ein Treffen von Echtzeitkartografie und Hochwasserhydrologie

Ch. Lienert, R. Weingartner, L. Hurni

Zur Entscheidungshilfe bei drohenden Hochwassern benötigen Fachleute leicht verfügbare Echtzeit- und Vorhersagedaten und daraus abgeleitete Visualisierungen. Was bis anhin manuell oder halb-automatisch erfolgte, nämlich die Akquisition, Harmonisierung, Speicherung, Verarbeitung, Visualisierung und Archivierung der relevanten Daten, sollte heute vollautomatisch und möglichst störungsfrei ermöglicht werden. Das hier präsentierte Online-System und die darin generierten kartografischen Visualisierungen basieren auf einem Datenmodell, das mit zusätzlichen Mess- und Modelldaten erweiterbar ist. Über eine grafische Benutzerschnittstelle werden sowohl die momentane und vorhergesagte, als auch die historische hydrologische Situation in Form von thematischen Karten präsentiert. Diese Karten werden nach den Bedürfnissen der Anwender in Echtzeit und automatisch aufbereitet. Sie lassen sich darüber hinaus interaktiv in unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Kombinationen darstellen.

Pour leurs décisions en cas de menace de hautes eaux les spécialistes ont besoin d'obtenir facilement des données en temps réel et des prévisions de données ainsi que les visualisations en découlant. Ce qui jusqu'à présent était exécuté manuellement ou de façon semi-automatique, à savoir acquisition, harmonisation, mémorisation, traitement, visualisation et archivage des données spécifiques devrait aujourd'hui être rendu possible de façon automatique et la plus fiable. Le système online présenté ci-après et les visualisations cartographiques qu'il génère est basé sur un modèle de données extensible par des données complémentaires de mesures et de modèles. Par une interface graphique d'utilisateur la situation hydrologique aussi bien momentanée et prévisionnelle que historique est présentée sous forme de cartes thématiques. Ces cartes sont préparées selon les besoins des utilisateurs en temps réel et automatiquement. En plus elles peuvent être présentées de façon interactive en divers combinaisons et degrés de détails.

Come aiuto decisionale, in caso di minaccia di piene, gli specialisti necessitano di geodati anticipatori e in tempo reale nonché delle relative visualizzazioni. Tutto ciò che finora veniva realizzato in modo manuale o semiautomatizzato – cioè l'acquisizione, l'armonizzazione, il salvataggio, l'elaborazione, la visualizzazione e l'archiviazione di dati di spicco – avviene oggi in modo completamente automatizzato e preferibilmente senza guasti. Il sistema online qui presentato e le visualizzazioni cartografiche generate si basano su un modello di dati, estensibile con ulteriori dati di misura e modellizzazione. Attraverso un'interfaccia utente grafica vengono presentate sia la situazione momentanea che quella prospettata, come pure quella idrologica storica sotto forma di carte tematiche. Queste carte sono allestite automaticamente in tempo reale, in base alle esigenze dell'utente. Inoltre, possono essere rappresentate in modo interattivo in diversi livelli di dettaglio e combinazioni.

Die Kommission Hochwasserschutz des Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS 2007) geht davon aus, dass künftig vermehrt Hochwasser auftreten und die Extremwerte zunehmen werden. Um für das nächste Hochwasser noch besser gerüstet zu sein braucht es deshalb verfeinerte Methoden, welche die Hochwasserfrühwarnung verbessern. Damit wird das Monitoring angesprochen, das einen wichtigen Beitrag zur Minimierung der von Hochwassern verursachten Schäden leistet. Es beinhaltet in erster Linie die Bereitstellung eines möglichst ortsunabhängigen Zugangs zu Echtzeitdaten, die idealerweise in Form von interpretierter und gut lesbarer Information visualisiert werden. Aus der Sicht des integralen Risikomanagements (Abb. 1) ist ein Monitoring-System im Bereich der Vorbeugung anzusiedeln, wo Verfügbarkeit und der Zugang zu zeitkritischer Information im Vordergrund stehen. Zudem ergeben sich angesichts der heute verfügbaren Vorhersagemöglichkeiten Konsequenzen für das integrale Risikomanagement: Der Bereich der Bewältigung verschiebt sich im Kreis bedeutend näher zum oder gar vor das Ereignis (Bezzola und Hegg 2007).
Zurzeit werden grosse Leistungen in der Bereitstellung von Echtzeitdaten (Echtzeitdatenassimilation) für Mittelfrist- und Kurzfristvorhersagen *(forecasting und nowcasting)* erbracht. Der Output numerischer Ensemble-Wetterprognosen liefert den Input zu hydrologischen Modellen (z.B. Jaun et al. 2008). Letztlich spielt es aber keine Rolle, ob wir es mit Echtzeitdaten oder in Echtzeit gelieferten Vorhersagedaten zu tun haben: die Methoden, um solche in Echtzeit verfügbaren Daten zu verwalten und zu visualisieren, sind im Wesentlichen dieselben. Um jedoch den kartografischen Ansprüchen bei der Handhabung von Echtzeitdaten zu genügen, müssen insbesondere die Datenakquisition, -speicherung, -verarbeitung, -visualisierung und -archivierung gänzlich automatisiert erbracht werden. Zeitkritische Daten sind dynamisch und

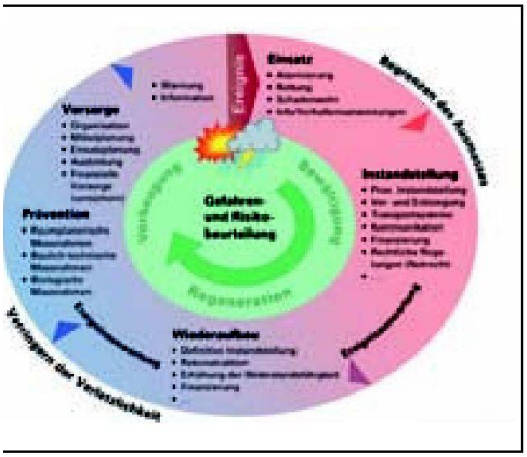

Abb. 1: Der Risikomanagement-Kreis mit den drei Hauptbereichen Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration (BABS 2008).

auf unterschiedlichen Raum-Zeit-Skalen abzubilden. Daten, von denen die Richtigkeit, die absoluten Werte oder Wertebereiche nicht a priori bekannt sind, müssen automatisch gefiltert, geordnet und klassiert werden.

Mit interaktiven Methoden und einfachen, aber effektiven Funktionalitäten zur Datenexploration werden durch Einbau in einer grafischen Benutzeroberfläche *(Graphical User Interface,* GUI) wesentliche Mehrwerte gegenüber bisherigen Lösungen geschaffen. Dazu gehören das benutzerfreundliche Abrufen von bereinigten Daten früherer Extremereignisse und Vorhersagedaten. So kann auf die Erfahrungen der Vergangenheit zurückgegriffen und sowohl die momentane als auch die vorhergesagte Situation besser beurteilt werden. Mit dieser zentralen Lösung fällt die aufwändige Informationsbeschaffung weg und es lässt sich im Ereignisfall wertvolle Vorwarnzeit einsparen.

Datengrundlage und räumliche Ausdehnung

Um sowohl Echtzeitdaten als auch manuell gesammelte historische Messdaten visualisieren und vergleichen zu können, werden beide Datenarten in einer Datenbank abgelegt. Echtzeitdaten werden automatisch mittels periodisch laufenden Programmroutinen von den Servern der Datenlieferanten abgeholt. Archivdaten werden vorgängig aufbereitet und dann mit manuell gesteuerten Routinen in der Datenbank abgelegt. Alle Daten werden von Bundesstellen und kantonalen Ämtern gemessen und geliefert (Tab. 1). Um Vergleiche ziehen zu können, müssen Messdaten an jeglichen Messpunkten sowohl als lange, feinaufgelöste Zeitreihen, als auch in Echtzeit vorhanden sein. Obwohl Echtzeitdaten eine gröbere zeitliche Auflösung haben, sind sie identisch mit den Archivdaten, was deren Parameter und räumliche Ausdehnung betrifft. Für die Vorhersagedaten werden lediglich die letzten hundert Tage gesammelt und keine langjährigen Archive geführt. Neben den erwähnten thematischen Daten wurden verschiedene Sätze statischer Topografie- und Gewässerdaten gesammelt und aufbereitet, einschliesslich eines auf verschiedenen Massstäben aufgelösten schattierten Reliefs. Aufgrund des kontinuierlichen Datenzuwachses wurde ein objekt-relationales Datenbank-Managementsystem auf einem eigens dafür vorgesehenen Projektserver aufgesetzt. Die Datenbank kann numerische Daten und georeferenzierte Vektordaten speichern. Rasterdaten hingegen werden nicht in der Datenbank sondern in web-fähige Formate (z.B. *jpg* oder *png)* umgewandelt und direkt auf dem Dateisystem des Servers gespeichert.

Design und Methodik

Das Visualisierungssystem besteht aus acht modularen Komponenten, wovon über das web-basierte GUI (Abb. 2, A) drei

Parameter	Räumliche Ausdehnung	Lieferungs-intervalle	Zeitliche Auflösung
Abflüsse, Seestände	Gesamte Schweiz (BAFU), zus. Stationen im Thurgebiet (SG)	60 min	10 und 60 min (je nach Station)
Niederschläge, Temperaturen, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit	Gesamte Schweiz (MeteoSchweiz), zus. Stationen in und ums Thurgebiet (SG, ZH, Ostluft)	60 min	10, 30 und 60 min (unregelmässig für einige Stationen der Kantone)
Radarbilder Niederschlag	Gesamte Schweiz, näheres Ausland	60 min	5 min
Schneehöhen	Gesamte Schweiz (IMIS-SLF)	60 min	30 min
Grundwasserstände	Stationen im Thurgebiet (SG)	täglich	5 min
Niederschlags- und Temperatur-vorhersagen	Gesamte Schweiz, 2x2 km Raster (Cosmo2-MeteoSchweiz)	3 h	60 min (Horizont 24 h)
Abflussvorhersagen (Stationen)	Ausgewählte Stationen im Rheingebiet (BAFU)	täglich	60 min (Horizont 72 h)
Abflussvorhersagen (Gebiete)	Thur, Verzasca, Emme, Reuss, Langete (PREVAH-WSL)	täglich	60 min (Horizont 72 h)

Tab. 1: Übersicht der automatisierten Echtzeit- und Vorhersagedatensammlung.

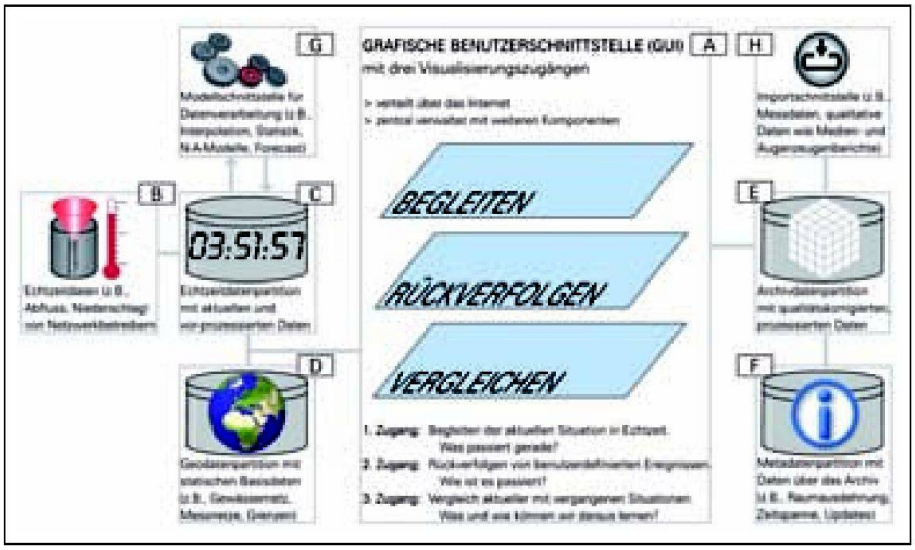

Abb. 2: Konzeptioneller Rahmen des kartografischen Echtzeitsystems (übersetzt aus Lienert *et al.* 2009c).

verschiedene Datenzugänge ermöglicht werden, die im Vorfeld des Projektes mit potenziellen Benutzer(innen) eruiert wurden: *Begleiten* der aktuellen Situation, *Rückverfolgen* von Ereignissen mittels animierter Karten und *Vergleichen* der aktuellen/vorhergesagten Situation mit historischen Daten und Ereignissen. Die Echtzeitdaten, als eine eigenständige Komponente (B), werden in unterschiedlichen Formaten angeliefert und mit individuellen Programmroutinen in die Echtzeitpartition der Datenbank (C) eingelesen. Dort sind die aktuellsten, vorprozessierten Daten abgelegt, um weiter verarbeitet oder direkt visualisiert zu werden. Zusätzliche Datenbankpartitionen speichern statische Vektordaten wie die Gewässernetze (D) sowie Archivdaten, welche nach der Qualitätskontrolle des Datenlieferanten in jährlichen Abständen geliefert und in diese Partition hineingeladen werden (E). Eine vierte, eigenständige Partition enthält die Metadaten (F). Zwei Schnittstellen sind mit der Echtzeit- und der Archivdatenpartition verbunden: die eine zielt darauf ab, weitere Datenverarbeitungsschritte zwischenzuschalten. So können hier gewisse punktuell vorliegende Echtzeitdaten vor der Visualisierung auf die Fläche interpoliert oder mit statistischen oder hydrologischen Modellen weiterverarbeitet werden (G). Die andere Schnittstelle erfüllt die Funktion des Datenimports, um einerseits die Archive mit den von Messnetzbetreibern jährlich zur Verfügung gestellten Daten nachzuführen (H) oder neue Echtzeitmessnetze in das System zu integrieren.

Echtzeitkarten zu produzieren bedeutet vereinfacht, automatisierte Arbeitsschritte auf ein konsistentes, erweiterbares Datenmodell anzuwenden. Dazu werden sowohl die automatisch gelieferten, als auch die manuell aufbereiteten Daten in der Datenbank zusammen mit deren Messzeit modelliert. Messdaten sind daher nicht nur durch deren Lage und Werte adressier- und unterscheidbar, sondern auch durch deren zeitliches Auftreten. In Form von Zeitstempeln wird die Zeit auf diese Weise selbst als ein Attribut der Messdaten behandelt (Ott und Swiaczny 2001). Solche Zeitstempel identifizieren jeden einzelnen Mess- oder Modellwert eindeutig. Im entwickelten objekt-relationalen Datenmodell wird die Zusammenführung von Datensätzen über diese Zeitstempel und andere Fremdschlüssel erbracht.

Visualisierungen werden am Schluss dieser Verarbeitungskette erzeugt. Funktionen eines auf dem Projektserver installierten Webmap-Servers werden für das Anzeigen der Rasterdaten verwendet. Messdaten und statische, topografische Basisdaten werden über Skripte verknüpft und als skalierbare Vektorgrafik *(Scalable Vector Graphic, SVG)* über das Internet ausgeliefert. Die Indexdatei, welche alle vom Benutzer angeforderten Daten enthält, wird durch den Einbezug eines serverseitigen Softwaremoduls dynamisiert. Dieses erkennt, wenn neue grafische Elemente kreiert oder Variablen – beispielsweise Zeitstempel früherer Hochwasserereignisse – dem System übergeben werden. Für die Interaktivität innerhalb des GUI ist *Javascript* verantwortlich, welche Benutzervorgänge (Klicken oder Fahren mit der Maus) zum Auslösen weiterer Arbeitsschritte behandelt. Im System wird zudem eine Technologie für den asynchronen Datentransfer zwischen dem Server und dem Browser eingesetzt, damit lediglich Teile der Indexdatei (z.B. einzelne Datenebenen) statt der gesamten Datei geladen werden müssen.

Beispielhafte Resultate

Im Folgenden werden Realisationen der Konzepte «Begleiten» und «Vergleichen» vorgestellt (siehe Abb. 2). Das GUI und die Echtzeitkarten können durch die Eingabe einer Webadresse (URL) im Browser abgerufen werden. Weitere zur Visualisierung notwendige Daten, Prozesse und Funktionalitäten werden nach Eingabe der URL automatisch auf dem Server gestartet.

Ein Fenster mit fünf Registerkarten wird mittels der *Map Manipulation*-Schaltfläche geöffnet (Abb. 3, oben links). Eine dieser Registerkarten wird *Comparing* genannt (A in Abb. 3) und beinhaltet zwei wählbare Einstellungen *(Settings)*. Die *Time Point Selection Setting* (B) erlaubt es, Daten eines willkürlich gewählten, auf zehn Minuten genauen vergangenen Zeitpunkts zu visualisieren. Die *Event Selection Setting* (C) ermöglicht den direkten Datenzugriff auf eines von elf vordefinierten Extremereignissen (u.a. August 2005).

Ein verschiebbares sowie ein- und ausschaltbares Ausgabefenster (D und E) dienen dazu, attributive Informationen zu einem Kartenobjekt in einem höheren Detaillierungsgrad anzuzeigen. Das Fenster enthält die Kartenlegende und die Zeit-

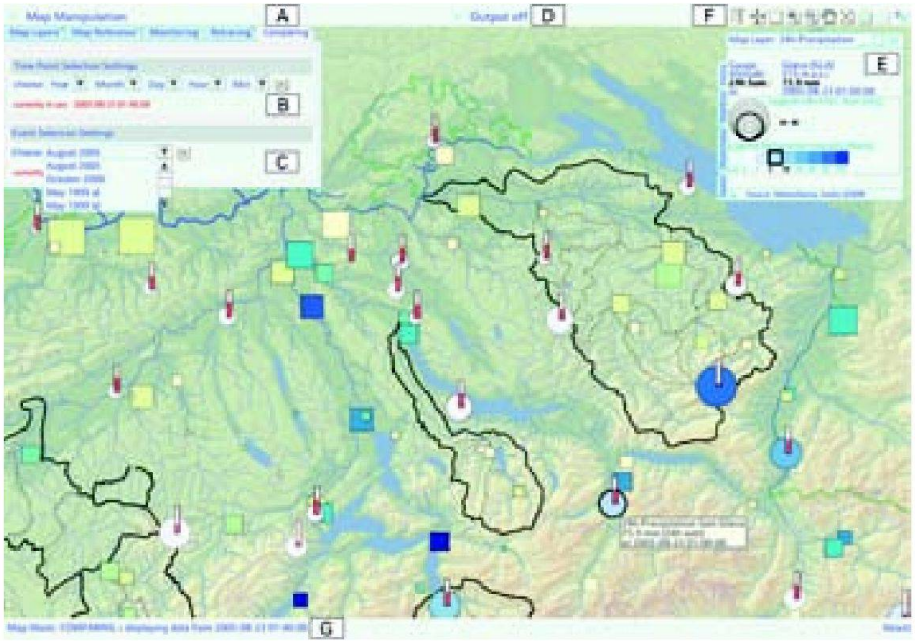

Abb. 3: Grafische Benutzerschnittstelle des Online-Systems mit eingeschalteter Vergleichsfunktionalität. Die Karte zeigt verschiedene hydro-meteorologische Parameter während des grossen Hochwassers 2005 (weitere Erklärungen im Text).

reihengrafik der Messdaten. Diese zusätzlichen Informationen werden direkt generiert, wenn mit der Computermaus über ein thematisches Kartenobjekt gefahren oder darauf geklickt wird. Zusätzliche Steuerelemente erlauben das Ein- und Auszoomen, das Verschieben oder das Re-Zentrieren der Karte (F). Der Messzeitpunkt der Daten sowie der Kartenmodus wird in der Statusleiste angezeigt (G).

Die Karte in Abbildung 3 zeigt die hydrometeorologische Situation am 23. August 2005, um 00:40. Zu diesem Zeitpunkt wurden während diesem Jahrhundertthochwasser bei einer grossen Anzahl Niederschlags- und Abflussstationen die Maxima gemessen. Die Quadrate und Kreise unterschiedlicher Grösse repräsentieren klassierte Abflussmengen beziehungsweise 24-Stunden Niederschlagssummen. Für beide Parameter bezeichnet die Farbe die Wiederkehrperioden, ausgedrückt in Jahren: Je dunkler die Farbe, desto kleiner ist die Auftretenswahrscheinlichkeit des gezeigten Wertes. Die Auftretenswahrscheinlichkeit wird aus der für jede Station vorliegenden Extremwertstatistik entnommen. Zudem sind in der Karte Temperatursäulen und einzelne Einzugsgebietsgrenzen angezeigt.

Ein Beispiel des Vergleichs von Echtzeitkarten und historischen Karten ist in Abbildung 4 dargestellt. Auf der Karte werden Radarbild und die 0°-Celsius Isotherme kombiniert. Diese Angaben dienen als Indikator, ob und in welchem Ausmass Niederschlag in fester oder flüssiger Form fällt. Auf einige ursprüngliche Daten, wie eben diesen rasterformatierten Radarbildern oder die punktuellen Temperaturdaten, werden im Echtzeitsystem komplexe, automatisierte Funktionen angewendet, die Daten räumlich interpolieren, neu klassieren und kolorieren (siehe dazu Lienert *et al.* 2009a).

Die Karte in Abbildung 5 zeigt die Temperaturvorhersage für die nächsten zwölf Stunden sowie die Abflussvorhersagen einiger ausgewählter Einzugsgebiete. In der Karte hervorgehoben ist das Einzugsgebiet der Reuss, für welches im Ausgabefenster detailliertere Informationen angezeigt sind. Die Zeitreihengraphik beinhaltet eine Kombination der vorhergesagten Niederschläge (umgekehrte blaue Balken) und des Ausflusses (grüne Linie)

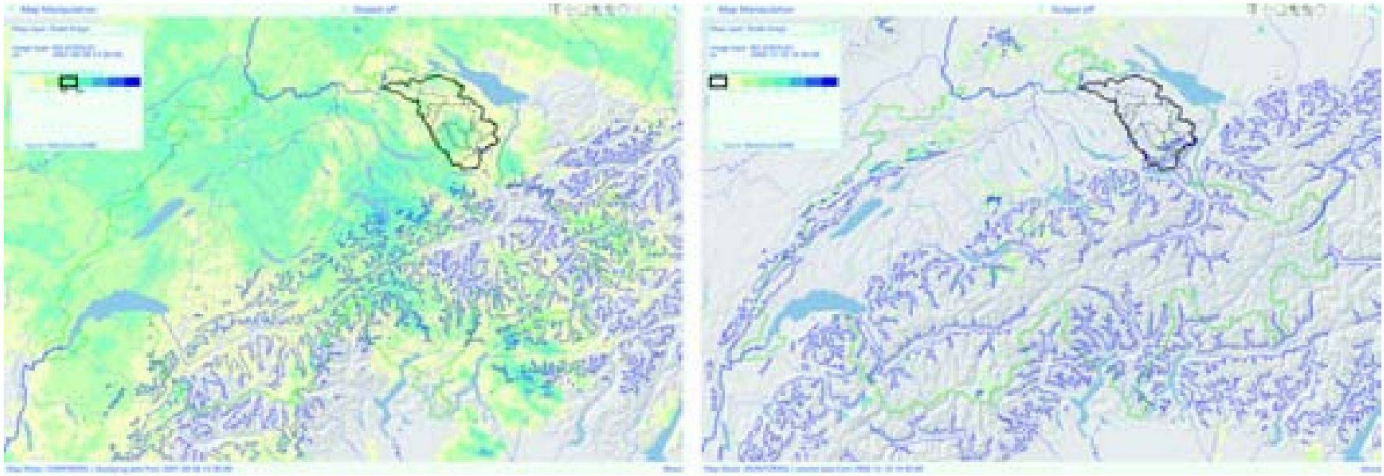

Abb. 4: Vergleich zweier Kartenbilder mit der Situation vom 8. August 2007 um 23:00 (links) und der Echtzeitsituation (rechts). Gezeigt sind das Radarbild des Niederschlags und die interpolierte 0°-Celsius Isotherme (aus Lienert *et al.* 2009b).

des Einzugsgebiets der Reuss. Neben attributiven Informationen wird auch die automatisch generierte Legende angezeigt. Je dunkler des Einzugsgebiet eingefärbt, desto höher, bzw. seltener ist der vorhergesagte Abfluss im Vergleich zur langjährigen Extremwertstatistik.

Schlussfolgerungen

Extreme Hochwasser haben oft verheerende Folgen. Ein Ansatz, Schäden zu minimieren, ist die Vereinfachung und Verbesserung des Datenmonitoring mit Echtzeit- und Vorhersagedaten. Mittels gut les- und interpretierbarer hydrologischer Echtzeitkarten können Entscheidungsträger sich entwickelnde Hochwasser laufend neu bewerten und so gezielte Massnahmen ergreifen. Ein komplementärer Ansatz umfasst die Bereitstellung von Vergleichsmöglichkeiten mit Daten historischer Hochwasserereignisse. Analysen vergangener Hochwasser können zur besseren Beurteilung eines gerade ablaufenden Hochwassers beitragen und wertvolle Hilfe im Hochwassermanagement bieten.

Die hier vorgestellten Echtzeitvisualisierungen von hydro-meteorologischen Daten aus Schweizer Messnetzen können auf einer grafischen Benutzeroberfläche in verschiedenen Detaillierungsgraden und unterschiedlichen raum-zeitlichen Skalen zusammengestellt und interaktiv erkundet werden. Den automatisierten kartografischen Abläufen liegt ein flexibles und erweiterbares Datenmodell zu Grunde, in welches Daten weiterer Echtzeitmessnetze mit bescheidenem Aufwand eingebunden werden können.

Danksagung

Dieses Projekt wird vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützt (Nummer 200020-122291).

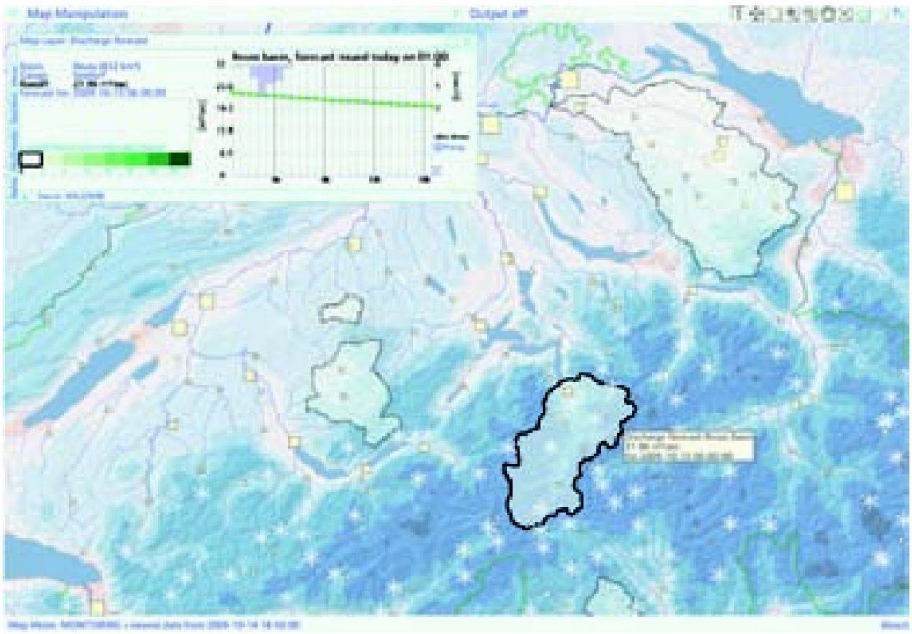

Abb. 5: Karte mit flächiger Temperaturvorhersage und Abflussvorhersage für ausgewählte Einzugsgebiete. Neben den Echtzeitdaten der Abflussstationen (Rechtecke) sind auch die Stationen mit gemessenen Schneehöhen eingezeichnet (Schneesterne).

Quellen:

BABS (2008). Dossier: Klimawandel und Bevölkerungsschutz. *Bevölkerungsschutz* 2: 1– 32.

Bezzola, G.R., Hegg, C. (2007). Fazit. In: Bezzola, G.R., Hegg, C. (Eds.). Ereignisanalyse Hochwasser 2005 – Teil 1 Prozesse, Schäden und erste Einordnungen. Bern und Birmensdorf: Bundesamt für Umwelt BAFU und WSL, pp 211–215.

Jaun, S., Ahrens, B., Walser, A., Ewen, T., Schär, C. (2008). A probabilistic view on the August 2005 floods in the upper Rhine catchment. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 8(2): 281–291.

KOHS (2007). Impact of Climate Change on Flood Protection in Switzerland – A Position Paper of the Commission on Flood Protection of the Swiss Association for Water Management. *Wasser Energie Luft* 1: 55–57.

Lienert, C., Kunz, M., Weingartner, R., Hurni, L. (2009a). Methods for Real-Time Visualization and Exploration Improvements of Radar and Temperature Data in Web-Cartography. In: Proceedings of the 24th International Cartography Conference, Santiago, Chile.

Lienert, C., Kunz, M., Weingartner, R., Hurni, L. (2009b). Monitoring and comparing: a cartographic web application for real-time visualization of hydrological data. In: Zlatanova, S., Konecny, M., Bandrova, T. (Eds.). Geoinformation and Cartography for early warning and crisis response (forthcoming). Heidelberg: Springer.

Lienert, C., Weingartner, R., Hurni, L. (2009c). Real-Time Visualization in Operational Hydrology through Web-based Cartography. *Cartography and Geographic Information Science* 36(1): 45-48.

Ott, T., Swiaczny, F. (2001). Time-integrative geographic information systems management and analysis of spatio-temporal data. Berlin: Springer.

Christophe Lienert
Institut für Kartografie ETH Zürich
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich
lienert@karto.baug.ethz.ch

Rolf Weingartner
Gruppe für Hydrologie
Geographisches Institut, Universität Bern
Hallerstasse 12
CH-3012 Bern

Prof. Lorenz Hurni
Institut für Kartografie ETH Zürich
Wolfgang-Pauli-Strasse 15
CH-8093 Zürich
hurni@karto.baug.ethz.ch