Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria

Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband

Band: 101 (2009)

Heft: 1

Artikel: Begleiten und Vergleichen : ein online-Werkzeug für die Echtzeitivisualisierung von Hochwasserdaten

Autor: Lienert, Christophe / Weingartner, Rolf / Hurni, Lorenz

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-941910

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 23.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Begleiten und Vergleichen: ein online-Werkzeug für die Echtzeitvisualisierung von Hochwasserdaten

■ *Christophe Lienert, Rolf Weingartner, Lorenz Hurni*

Zusammenfassung

Zur Entscheidungshilfe bei drohenden Hochwassern benötigen Fachleute leicht verfügbare Echtzeitdaten und daraus abgeleitete Visualisierungen. Was bis anhin manuell oder halbautomatisch erfolgte, nämlich die Akquisition, Harmonisierung, Speicherung, Verarbeitung, Visualisierung und Archivierung der relevanten Daten, sollte heute vollautomatisch und möglichst störungsfrei ermöglicht werden. Die hier präsentierte Internetapplikation und die darin generierten kartografischen Visualisierungen basieren auf einem Datenmodell, das um (oder mit) zusätzliche(n) Mess- und Modelldaten erweiterbar ist.

Über eine grafische Benutzerschnittstelle können Benutzer(innen) die momentane hydrologische Situation in Form von thematischen Karten überblicken. Diese Karten werden nach den Bedürfnissen der Anwender in Echtzeit und automatisch aufbereitet. Die aktuellsten hydrologischen Informationen sind so jederzeit einfach verfügbar; sie lassen sich darüber hinaus interaktiv, in unterschiedlichen Detaillierungsgraden und Kombinationen, darstellen. Um eine aktuelle Hochwassersituation in den historischen Kontext einzuordnen, um also aus der Vergangenheit zu lernen, sind im online-Werkzeug Funktionen bereitgestellt, mit denen sich auch frühere Hochwasserereignisse einfach visualisieren lassen. Dazu werden die Daten aus einem langjährigen, hochaufgelösten Archiv denselben kartografischen Regeln und Abstraktionen unterzogen wie die Echtzeitdaten, so dass ein direkter Vergleich gezogen werden kann.

1. Einführung

1.2 Motivation

Das Standortpapier der Kommission Hochwasserschutz im Schweizerischen Wasserwirtschaftsverband (KOHS 2007) bringt es auf den Punkt: Es «wird erwartet, dass künftig vermehrt Hochwasser auftreten und die Extremwerte zunehmen werden.» Hydrologen, Wasserbauer, Behörden und Bevölkerung – wir alle – sind gefordert, uns auch weiterhin mit der Hochwassergefahr auseinanderzusetzen, um für das nächste Hochwasser noch besser gerüstet zu sein (Bezzola und Hegg 2007). Um dies zu erreichen, müssen zwangsläufig auch Methoden erarbeitet und verfeinert werden, die es erlauben, Hochwassergefahren frühzeitig zu erkennen. Damit wird das Hochwasser-Monitoring angesprochen, das einen wichtigen Beitrag zur Minimierung der von Hochwassern verursachten Schäden leistet. Monitoring beinhaltet in erster Linie die Bereitstellung eines möglichst ortsunabhängigen Zugangs zu Echtzeitdaten, die idealerweise in Form von interpretierter und gut lesbarer Information visualisiert werden.

Der vorliegende Aufsatz beschreibt die Grundzüge eines modernen Hochwasser-Monitoring-Systems für die Schweiz, das gemeinsam am Institut für Kartografie der ETH Zürich und am Geographischen Institut der Universität Bern entwickelt wird.

1.2 Frühwarnungskontext und Anforderungen an Echtzeitdarstellungen

Letztlich zielt jede hydrologische Monitoring-Infrastruktur darauf ab, drohenden Hochwassern in einer frühen Phase entgegenzutreten. Aus der Sicht des integralen Risikomanagements *(Bild 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

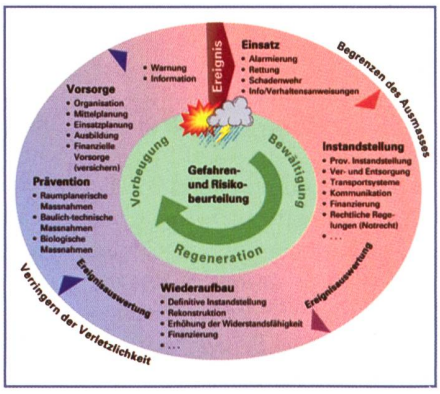

Bild 1. Der Risikomanagement-Kreis mit den drei Hauptbereichen Vorbeugung, Bewältigung und Regeneration (BABS 2008).

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. Bartholmes und Todini 2005; Verbunt et al. 2006; Jaun et al. 2008; Schwanbeck 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 visualisieren, sind im Wesentlichen dieselben; allerdings genügen sie den heutigen Anforderungen oftmals nicht mehr und müssen daher verbessert werden. Um den kartografischen Ansprüchen bei der Handhabung von Echtzeitdaten zu genügen, müssen insbesondere die Datenakquisition, -speicherung, -verarbeitung, -visualisierung und -archivierung störungsfrei und gänzlich automatisiert erbracht werden. Zeitkritische Daten sind dynamisch und auf unterschiedlichen Raum-Zeit-Skalen

Parameter	Räumliche Ausdehnung	Lieferungsintervalle	Zeitliche Auflösung
Abflüsse, Seestände	Gesamte Schweiz (BAFU), zus. Stationen in Thurgebiet (SG)	1 h	10 min
Niederschläge, Temperaturen, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit	Gesamte Schweiz (MeteoSchweiz), zus. Stationen in und ums Thurgebiet (SG, ZH, Ostluft)	1 h	10, 30 and 60 min (unregelmässig für einige Stationen der Kantone)
Radarbilder Niederschlag	Gesamte Schweiz, näheres Ausland	1 h	5 min
Grundwasserstände	Stationen in Thurgebiet (SG)	täglich	5 min

Tabelle 1. Übersicht der automatisierten Echtzeitdatensammlung.

Parameter	Archiv von - bis	Räumliche Ausdehnung	Zeitliche Auflösung
Abflüsse, Seestände	01.01.1974-01.01.2007	Gesamte Schweiz	10 min
Niederschläge, Temperaturen, Luftdruck, Luftfeuchtigkeit	01.01.1981-31.12.2007	Gesamte Schweiz (MeteoSchweiz), zus. Stationen in und um Thurgebiet	10 min
Radarbilder Niederschlag	01.01.1991-31.12.2007	Gesamte Schweiz, näheres Ausland	1 hr
Grundwasserstände	01.01.1996-01.05.2007	Stationen im Thurgebiet	5 min

Tabelle 2. Übersicht der Archivdatensammlung.

abzubilden. Daten, von denen die Richtigkeit, die absoluten Werte oder der Wertebereich nicht a priori bekannt sind, müssen gefiltert, geordnet und klassiert werden. Zusätzlich zu diesen Anforderungen müssen Kartenbilder an beliebige Computer mit unterschiedlichen Webbrowsern übermittelt werden können. Dies bedeutet, dass kartografische Produkte gängige Webstandards einhalten müssen.

Mit der Entwicklung interaktiver Methoden und durch die Bereitstellung von einfachen, aber effektiven Funktionalitäten zur Datenexploration werden durch Einbau in einer grafischen Benutzeroberfläche (Graphical User Interface, GUI) wesentliche Mehrwerte gegenüber bisherigen Lösungen geschaffen. Ein Beispiel dafür ist das benutzerfreundliche Abrufen von bereinigten Daten früherer Extremereignisse. Auf diese Weise können operationelle Hydrologen auf das Wissen und Erfahrungen der Vergangenheit zurückgreifen und so die momentane Situation besser beurteilen. Statt der aufwändigen Suche nach vergleichbaren Daten, können historische Datenbestände und Kombinationen daraus im online-Werkzeug selbst bereitgestellt werden.

1.3 Begleiten und Vergleichen – ähnliche Ansätze

Der vorliegende Artikel diskutiert Echtzeitvisualisierungen von hydrologischen Daten und greift das vorhin diskutierte Beispiel des Vergleichens zwischen Echtzeitdaten und historischen Daten auf. Die hier präsentierten Resultate basieren auf dem Dissertationsprojekt «Real-Time Cartography» in Operational Hydrology, welches vom Schweizerischen Nationalfonds unterstützt wird. Das Projekt deckt neben der Hochwasserhydrologie weitere wissenschaftliche Bereiche wie die Internetkartografie, Echtzeitanwendungen im Geobereich oder Entscheidungsunterstützungssysteme ab (vgl. Lienert et al. 2007).

Es bestehen nur wenige Ansätze zur gleichzeitigen Visualisierung von Echtzeitdaten und historischen Daten. So werden auf der Webseite des Bundesamtes für Umwelt, Abteilung Hydrologie, raster-basierte Karten publiziert, bei denen die aktuellen an den Messstationen beobachteten Abflüsse in Beziehung zu extremwertstatistischen Kennwerten (z.B. HQ_{100}) gesetzt werden. Die Messstationen sind mit einer Farbe symbolisiert, welche das Intervall einer vordefinierten Wiederkehrperiode repräsentieren. Diese Idee wurde auch im hier beschriebenen Werkzeug aufgenommen *(Bild 3)*.

Entscheidungsunterstützungssysteme (decision support systems) als operative und strategische Hilfe sind weit verbreitet, um eine Vielzahl von hydrologischen Fragestellungen anzugehen. Manche dieser Systeme bauen jedoch auf historischen, gemittelten Daten auf und enthalten keine Echtzeitdaten (z.B. Berlekamp et al. 2007; de Kort und Booij 2007). Andere verarbeiten Echtzeitdaten und historische Daten für den Zweck der Datenassimilation, -kalibration und -validation von Vorhersagemodellen (z.B. Todini 1999; Li et al. 2006; Vrugt et al. 2006). Ein seltenes Beispiel einer Datenbank, die eine Chronologie von hydrologischen Extremereignissen enthält, wird in Black und Law (2004) beschrieben. In diesem System werden hydrologische Informationen abgelegt, welche aus Zeiten stammen, als noch keine Messungen gemacht wurden. Die Datenbank speichert allerdings bloss textliche Information über den Wasserstand und das Ausmass von Hochwasser, und infolgedessen werden Abfrageresultate nicht georeferenziert oder gar kartografisch dargestellt.

2. Datengrundlage und räumliche Ausdehnung

2.1 Geeignete und verwendete Daten

Das hier vorgestellte Projekt wurde mit dem Ziel entworfen, sowohl Echtzeitdaten als auch manuell gesammelte historische Messdaten und Aufzeichnungen visualisieren zu können. Beide Datenarten werden in einer Datenbank abgelegt und von einem Datenbank-Managementsystem verwaltet. 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. Um Vergleiche ziehen zu können, müssen Messdaten an jeglichen Messpunkten sowohl als lange, feinaufgelöste Zeitreihen, als auch in Echtzeit vorhanden sein. Neben der Zugänglichkeit über ein Netzwerk sind für die Echtzeitdaten eine Zeitauflösung von mindestens einer Stunde und ein Lieferungsintervall von ≤ zwei Stunden die Eignungskriterien. Alle Daten werden von Bundesstellen gemessen. Räumlich decken sie die gesamte Schweiz ab mit einer Verdichtung in und um das Thurgebiet, wo zusätzliche kantonale Daten berücksichtigt werden. *Tabellen 1* und *2* zeigen eine Übersicht über die gesammelten Echtzeit- und Archivdaten. Zwar haben die Echtzeitdaten eine gröbere zeitliche Auflösung, sie sind jedoch identisch mit den Archivdaten, was deren Parameter und räumliche Ausdehnung betrifft.

Alle Daten können der metrischen Verhältnisskala zugewiesen werden, mit Ausnahme der Lufttemperatur, welche in Grad Celsius geliefert wird und deshalb zur metrischen Intervallskala gehört. Abgesehen von Radarbildern stammen sie alle von einzelnen Punktmessungen. Dafür wurden unterschiedliche proportionale Echtzeitsymbolisierungen entwickelt. Für Radardaten des Niederschlags und die Punktdaten der Temperatur und des Abflusses wurden eine Reihe automatisierter Verarbeitungs- und Visualisierungsabläufe entwickelt, welche zusätzlich Linien- und Flächensymbole ausgeben (Lienert et al. 2008; Lienert et al. 2009).

Neben den oben erwähnten thematischen Daten wurden verschiedene Sätze statischer Topografie- und Landnutzungsdaten gesammelt und aufbereitet, einschliesslich eines auf verschiedenen

Massstäben aufgelösten schattierten Reliefs, der Hypsometrie, Wald- und Siedlungsflächen. Diese Daten werden für die Basiskarte im online-Werkzeug verwendet und sind standardmässig darin vorgeladen. Statische hydrologische Daten im online-Werkzeug umfassen Seen, Grundwassergebiete, das vollständige 1:200 000 und 1:25 000 Gewässernetz sowie die Geometrie der HADES Bilanz- und Basisgebiete. Aufgrund des kontinuierlichen Datenzuwachses wurde ein objekt-relationales Datenbank-Managementsystem auf einem eigens dafür vorgesehenen Projektserver aufgesetzt. Die Datenbank kann numerische Daten und Vektordaten speichern. Rasterdaten hingegen werden nicht in der Datenbank sondern in web-fähigen Formaten (z.B. jpg oder png) direkt auf dem Dateisystem des Servers gespeichert.

2.2 Geografischer Fokus

Wie in *Tabellen 1* und *2* aufgeführt, werden Daten aus der ganzen Schweiz gesammelt. Jedoch ist der geografische Fokus des Projekts auf das Thurgebiet ausgerichtet. Hier wird eine vertiefte Pilotstudie durchgeführt und das Projekt auf seine Praxistauglichkeit hin getestet. Das Einzugsgebiet der Thur weist eine Fläche von 1700 km^2 auf, mit Höhenunterschieden zwischen 336 und 2501 m.ü.M. Hinsichtlich Frühwarnungs- und Begleitaktivitäten ist die Grösse des Gebietes geeignet, um echtzeitkartografische Konzepte zu erproben, denn die Vorlaufzeiten für Warnungen erlauben es, noch adäquate Gegenmassnahmen zu treffen. Aus hydrologischer Sicht ist der obere Einzugsgebietsteil im Frühjahr von der Schneeschmelze dominiert und kann deshalb den nivo-pluvialen Abflussregimes zugeschrieben werden (Weingartner und Aschwanden 1992). Studien über den Einfluss des Klimawandels auf die Hydrologie des Thurgebiets suggerieren – bereits aus der Sicht der letzten Jahre – eine substantielle Reduktion der Ausdehnung und Dauer der Schneedecke. Deshalb ist mit einer Verschiebung des saisonalen Abflussmusters zu rechnen, mit früheren und verminderten Abflussspitzen (z.B. Jasper et al. 2004).

3. Design und Methodik

3.1 Konzeptionelle Überlegungen

Das Visualisierungssystem besteht aus acht modularen Komponenten *(Bild 2)*, wovon über das webbasierte GUI (*Bild 2*, #1) drei verschiedene Datenzugänge ermöglicht werden. Die Echtzeitdaten werden als eine eigenständige Komponente betrachtet

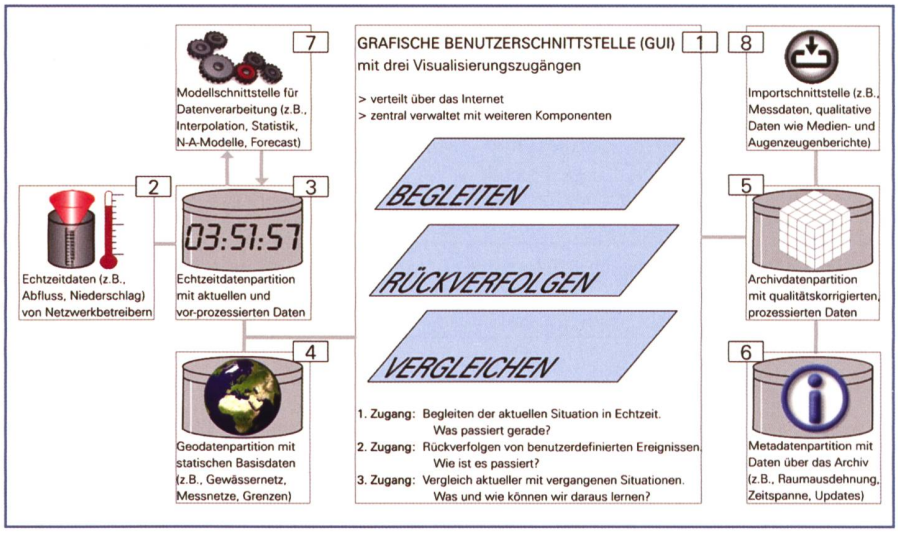

Bild 2. Konzeptioneller Rahmen des kartografischen Echtzeitsystems.

(#2) und entweder auf den Projektserver gesendet oder auf den Servern der Datenlieferanten abgeholt. Daten werden in unterschiedlichen Formaten angeliefert und mit individuellen Programmroutinen in die Echtzeitpartition der Datenbank (#3) eingelesen. Dort sind die aktuellsten, vorprozessierten Daten abgelegt, um weiterverarbeitet oder direkt visualisiert zu werden. Zusätzliche Datenbankpartitionen speichern statische Vektordaten wie die Gewässernetze oder die Landnutzungsdaten (#4) sowie Archivdaten, welche nach der Qualitätskontrolle von Bund oder Kantonen in jährlichen Abständen geliefert und in diese Partition hineingeladen werden (#5). Die Verknüpfung der Daten dieser Archivdatenpartition mit denen der Echtzeitdatenpartition stellt, wie noch diskutiert werden wird, die Grundlage für den Vergleich dieser zwei Datenarten dar. Eine vierte, eigenständige Datenbankpartition enthält die Metadaten (#6), welche Informationen über die gesamte Datensammlung enthalten. Ferner sind zwei Schnittstellen mit der Datenbank – bestehend aus der Echtzeit- (#3) und Archivdatenpartition (#5) – verbunden: die eine ist darauf ausgerichtet, 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 (#7). Die andere Schnittstelle erfüllt die Funktion des Datenimports, um die Archive mit den von Messnetzbetreibern jährlich zur Verfügung gestellten Daten nachzuführen (#8). Diese Schnittstelle könnte auch dazu dienen, qualitative Textdaten wie Medienberichte oder Augenzeugenberichte von vergangenen Hochwasserereignissen in die Datenbank einzugeben.

Das Gesamtkonzept des Datenzugangs und der Datenvisualisierung im GUI basiert auch auf Ergebnissen von Diskussionen mit potenziellen Benutzer(innen). Es zeigt, welche Visualisierungen und Funktionalitäten benötigt werden, damit operationelle Hydrologen…

1) …sich schnell und umfassend ein Bild von der aktuellen (Hochwasser-)situation machen können (Begleiten, *Bild 2*).
2) …kurzfristige Entwicklungen der aktuellen oder vergangenen Situation rückverfolgen können (Rückverfolgen).
3) …von vergangenen Extremereignissen lernen und den Bezug zur jetzigen Situation herstellen können (Vergleichen).

Im Folgenden konzentrieren wir uns auf methodische Aspekte des «Begleitens».

3.2 Vergleich von Echtzeitdaten mit historischen Daten – wie und was können wir aus der Vergangenheit lernen?

Um Karten und grafische Darstellungen historischer Hochwasserereignisse zu generieren, wird über die grafische Benutzerschnittstelle ein Zeitpunkt in Form eines Zeitstempels eingegeben. Es werden danach alle (vom Benutzer voreingestellten) Daten aufgerufen, die mit diesem Zeitstempel verknüpft sind. Dabei werden alle relevanten Tabellen der Datenbank (*Bild 2*, #5) durchsucht und gefiltert. Das Resultat ist eine thematische Karte, welche die Situation des zuvor übergebenen Zeitpunkts zeigt. Sie wird unter Verwendung derselben Arbeitsschritte und derselben kartografischen Abstraktionen und Symbolisierungen produziert, wie es für Echtzeitdaten der Fall ist. Um einen visuellen Vergleich zwischen den historischen und

den aktuellen Daten zu ziehen, lassen sich die entsprechenden Karten in zwei verschiedenen Webbrowsern nebeneinander anordnen, und es kann so vom einen zum anderen Kartenbild gewechselt werden. Oder der Benutzer entscheidet, im GUI selbst zwischen Echtzeit- und historischen Visualisierungen zu wechseln.

Die Konfiguration und die Entwicklungsmuster vergangener Ereignisse lassen sich prägnant aus den historischen Visualisierungen ableiten, vor allem wenn sie im GUI auf einem höheren Detaillierungsgrad angezeigt werden (*Bild 3, 4* und *5*). Dazu gehört das Vergleichen raumzeitlicher Beziehungen verschiedener Kenngrössen oder das interaktive Explorieren von Zeitreihenentwicklungen an Messpunkten (Anzeige zusätzlicher Information beim Bewegen der Maus über Zeitreihengrafiken). Solche interaktiven Methoden vereinfachen den Zugang zu historischen Daten und tragen dazu bei, Wissen aus vergangenen Ereignissen zu generieren, welches wiederum in den gegenwärtigen Entscheidungsprozess einfliessen kann. Es sind generell zwei Arten denkbar, solches Wissen zugänglich zu machen und zu repräsentieren:

- Auf quantitative Art, d.h., auf einer logischen, formalisierten Ebene (im Werkzeug realisiert).
- Auf qualitative Art, d.h., auf einer deskriptiv-textuellen und multimedialen Ebene (geplant).

Weitere interaktive Methoden müssen entwickelt werden, welche das Verschieben oder das Hin- und Herschalten von Visualisierungen beider Datentypen unterstützen. Letztlich geht es darum, nutzbringende Information intuitiv zugänglich zu machen und platzsparend und übersichtlich zu präsentieren.

3.3 Datenmodell und Visualisierungsmethoden

Echtzeitkarten zu produzieren bedeutet vereinfacht, automatisierte Arbeitsschritte auf ein konsistentes, erweiterbares Datenmodell anzuwenden. Um dies zu erreichen, 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 erkenn- 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 (Maidment et al. 2002; Valpreda 2004). Solche Zeitstempel dienen als eindeutige Bezeichner (Unique Identifiers, UID) für jeden einzelnen Messwert. Im objekt-relationalen Datenmodell wird die Zusammenführung von Datensätzen über diese Zeitstempel-UID oder andere Fremdschlüssel erbracht. Neben dem räumlichen Datenbank-Managementsystem basieren alle involvierten Technologien für die Verarbeitung und die kartografische Repräsentation der Daten auf quelloffenen, kostenlosen Programmen (Lienert et al. 2009).

Visualisierungen werden am Schluss einer Verarbeitungskette erzeugt. Funktionen eines auf dem Projektserver installierten Webmap-Servers werden für das Anzeigen der Rasterdaten verwendet. Sie werden in Abhängigkeit von Kartenmassstab und Begrenzungsrahmen des Kartenbildes, welche über das GUI vom Server angefordert werden, auf dem Internet zugänglich gemacht. Messdaten und statische, topografische Basisdaten werden über Skripte verknüpft und schliesslich als skalierbare Vektorgrafik (SVG) über das Internet ausgeliefert. Zusätzlich zu den Karten ist auch das umgebende GUI mit seinen Funktionalitäten vollständig in SVG eingebunden. SVG ist ein Web-Standard zur Darstellung zweidimensionaler Grafik und erfüllt die Bedürfnisse der meisten Webkartenprojekte (Neumann und Winter 2003). Die SVG-Indexdatei, welche alle vom Benutzer angeforderten Daten enthält, wird durch den Einbezug eines zusätzlichen Softwaremoduls auf der Serverseite dynamisiert. So kann erkannt werden, wenn neue grafische Elemente kreiert oder Variablen – beispielsweise Zeitstempel früherer Hochwasserereignisse – dem Werkzeug übergeben werden. Javascript ist eine bekannte Skriptsprache für Webanwendungen und ist innerhalb des GUI für die Interaktivität verantwortlich. So können mit diesen Skripten Benutzervorgänge wie das Klicken oder das Fahren mit der Maus zum Auslösen weiterer Arbeitsschritte behandelt werden. Im Werkzeug wird zudem eine Technologie für den asynchronen Datentransfer zwischen dem Server und dem Browser eingesetzt. Damit müssen lediglich Teile der Indexdatei statt der gesamten Datei geladen werden. Im Falle des online-Werkzeugs ist dies besonders vorteilhaft, weil thematische Daten getrennt behandelt sind und somit nur einzelne Datenebenen neu geladen werden müssen.

4. Beispielhafte Resultate

Das GUI und seine standardmässige Dateneinstellung können durch die Eingabe einer Webadresse (URL) in den Browser abgerufen werden. Neben der automatischen Erzeugung web-basierter Echtzeitkarten aus Echtzeitdaten wird mit dem interaktiven und benutzerfreundlichen Zugang zu den Daten eine weitere Anforderung an das Werkzeug gestellt: Benutzer sollten sich nicht mit den zu Grunde liegenden Arbeitsschritten auseinandersetzen müssen. Weitere zur Visualisierung notwendige Daten, Prozesse und Funktionalitäten werden nach Eingabe der URL automatisch auf dem Server gestartet.

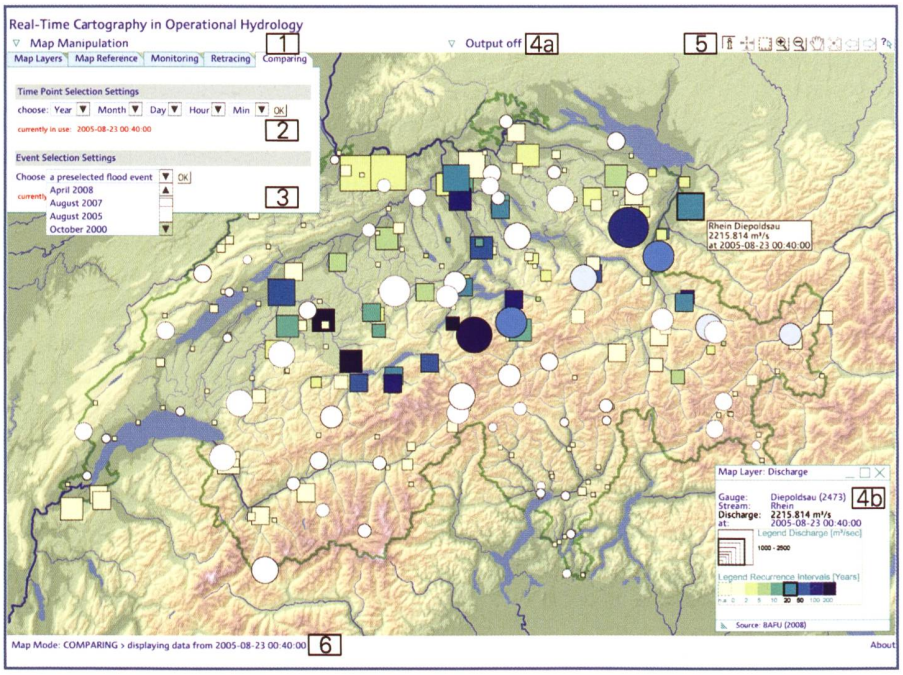

Bild 3. Grafische Benutzerschnittstelle des online-Werkzeuges mit eingeschalteter Vergleichsfunktionalität. Die Karte zeigt die vom BAFU gemessenen Abflüsse (quadratische Punktsymbole) und die 24-Stunden Niederschlagssumme (kreisförmige Punktsymbole) vom 23. August 2005 um Mitternacht (siehe weitere Erklärungen im Text).

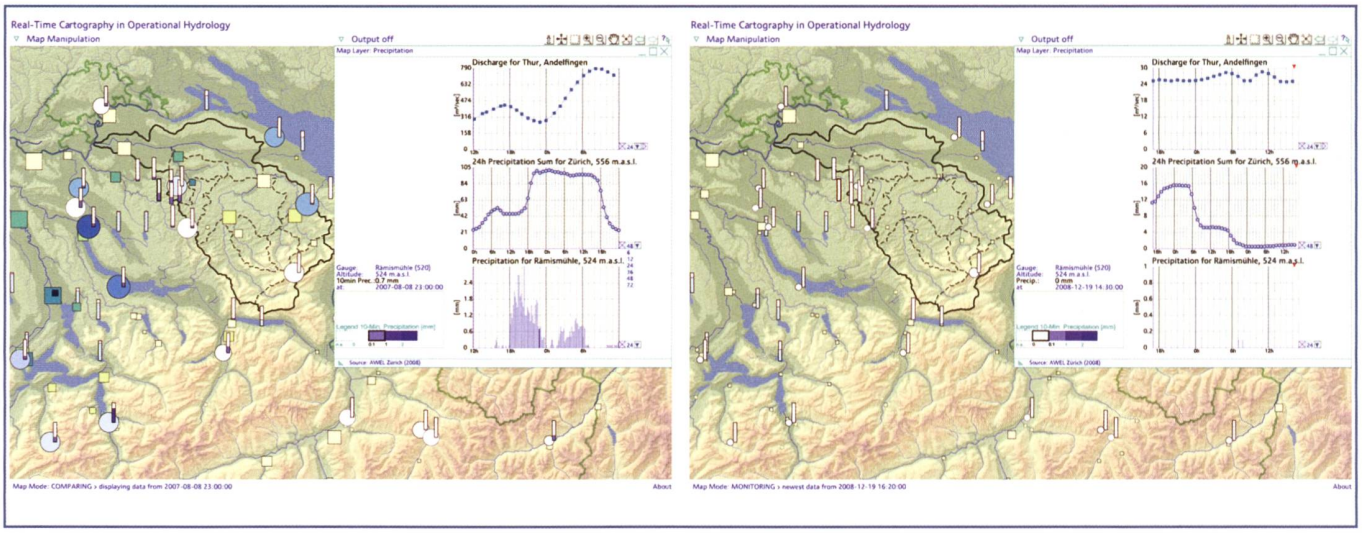

Bild 4. Vergleich zweier Kartenbilder mit der Situation vom 08. Aug. 2007 um 23:00 (links) und der Echtzeitsituation (rechts). Gezeigt sind Seestände, Abflüsse, 24-Stunden und 10-Minuten Niederschlagssummen im und um das Thurgebiet. Die Graphen repräsentieren die Zeitreihen der drei letztgenannten Datenparameter von Andelfingen, Zürich und Rämismühle.

Ein Fenster mit fünf Registerkarten wird mittels der Map Manipulation-Schaltfläche geöffnet (*Bild 3*, oben links). Eine dieser Registerkarten wird Comparing genannt (#1 in *Bild 3*) und beinhaltet zwei wählbare Einstellungen (Settings). Die Time Point Selection Setting (#2) erlaubt es, Daten eines willkürlich gewählten, auf 10 Minuten genauen vergangenen Zeitpunkts zu visualisieren. Damit das Vergleichen schneller und einfacher zu bewerkstelligen ist, ermöglicht die Event Selection Setting (#3), direkt die Daten eines vordefinierten Extremereignisses abzurufen. Zur Liste dieser Extremereignisse gehören elf bedeutende Hochwasser ab 1977, von denen weite Teile der Schweiz betroffen waren:

- April 2008
- August 2007
- August 2005
- Oktober 2000
- Mai 1999 (Anfang)
- Mai 1999 (Mitte)
- September 1993
- Juli 1987
- August 1987
- August 1978
- August 1977

Wie der Tabelle 2 zu entnehmen ist, reichen die für das Projekt bearbeiteten, vom BAFU gelieferten digitalen Abflussdaten bis 1974 zurück. Extremereignisse davor, beispielsweise jenes von 1910, wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Ein verschiebbares sowie ein- und ausschaltbares Ausgabefenster (#4a und b) dienen dazu, attributive Informationen zu einem Kartenobjekt in einem höheren Detaillierungsgrad anzuzeigen. Das Fenster enthält die Kartenlegende und die Zeitreihengrafik der Messdaten. Diese zusätzlichen Informationen werden direkt generiert, wenn mit der Computermaus über ein thematisches Kartenobjekt gefahren oder darauf geklickt (siehe Kommentar oben) wird. Zusätzliche Steuerelemente erlauben das Ein- und Auszoomen, das Verschieben oder das Re-Zentrieren (#5). Um zu wissen, welchem Zeitpunkt eine Karte zugeordnet ist, wird der Messzeitpunkt der Daten sowie der Kartenmodus in der Statusleiste angezeigt (#6). Der Kartenmodus ist entweder auf Begleiten (monitoring), Rückverfolgen (retracing) oder Vergleichen (comparing) gesetzt. Die Karte in *Bild 3* zeigt die hydrometeorologische Situation am 23. August 2005, vierzig Minuten nach Mitternacht. Zu diesem Zeitpunkt wurden 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.

In *Bild 4* werden zwei Kartenbilder mit identischer räumlicher Ausdehnung gezeigt. Jenes rechts bildet die Echtzeitsituation ab und jenes links die Situation vom 08. August 2007 um 23 Uhr. Falls sich die Karte im Echzeitmodus befindet und auf ein Kartensymbol geklickt wird, erscheint eine Zeitreihengrafik mit den Daten der letzen 24 Stunden. Wenn der Vergleichen-Modus eingestellt ist, werden die vorhergehenden und die nachfolgenden 12 Stunden des eingegebenen Zeitstempels angezeigt. Diese 24-stündige Zeitspanne lässt sich mittels eines Aufklappmenüs interaktiv vergrössern oder verkleinern, sodass die Daten in einer neuen Zeitspanne angezeigt werden (*Bild 4*, links, Graph in der Mitte).

Ein weiteres Beispiel des Vergleichs von Echtzeitkarten und historischen Karten ist in *Bild 5* dargestellt. Die Datenebene, welche die Hypsometrie enthält, ist ausgeschaltet worden und stattdessen wurde das Radarbild aktiviert. Auf einige ursprüngliche Daten, wie eben die rasterformatierten Radarbilder oder die punktuellen Temperaturdaten, werden in Echtzeit komplexe, automatisierte Funktionen angewendet. Die in *Bild 5* gezeigten Radarbilder werden zur besseren Lesbarkeit neu eingefärbt und mit einem eigens dafür kreierten Gitter unterlegt. Diese Gitter enthalten die indizierten Farben der einzelnen Pixel des Radarbildes. Mit der Bereitstellung weiterer Funktionen im GUI wird es für den Benutzer durch Bewegen der Computermaus möglich, den Wert und die dazugehörige, neue Farblegende zu sehen. Zusätzlich zum Radarbild enthalten die Karten in *Bild 5* die 0°-Celsius Isotherme, die als Indikator dafür herangezogen werden kann, ob und in welchem Ausmass Niederschlag in fester oder flüssiger Form fällt. Diese linienhafte Symbolisierung der Temperatur basiert auf der Einbindung automatisierter Interpolationen von ANETZ-Messwerten und der Extraktion derjenigen Höhenlinie, für die 0°-Celsius berechnet wurde. Die Abläufe, die zu verbesserten Radar- und Temperaturdatendarstellungen führen, werden in Lienert et al. (2009) diskutiert.

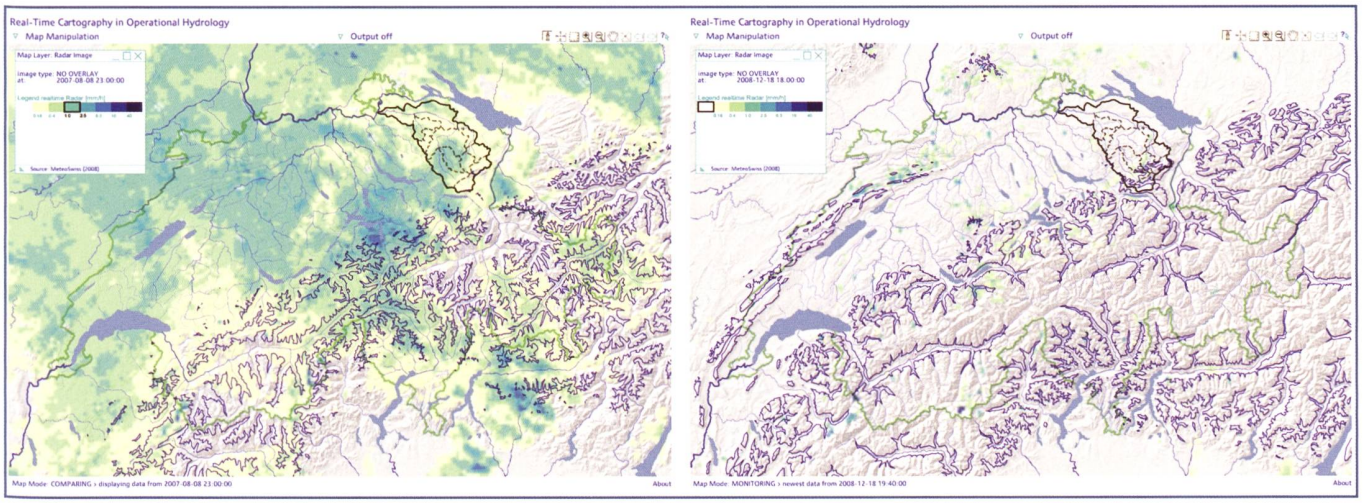

Bild 5. Vergleich zweier Kartenbilder mit der Situation vom 08. Aug. 2007 um 23:00 Uhr (links) und der Echtzeitsituation (rechts). Gezeigt sind das Radarbild des Niederschlags und die 0°-Celsius Isotherme.

5. Schlussfolgerungen und Ausblick

Extreme Hochwasser haben oft verheerende Folgen. Ein Ansatz, Schäden zu minimieren, ist die Vereinfachung und Verbesserung des Datenmonitoring und damit die Vergrösserung der Handlungsspielräume in der Frühwarnung. Mittels gut les- und interpretierbarer hydrologischer Echtzeitdaten können Entscheidungsträger sich entwickelnde Hochwasser laufend neu bewerten und so gezielte Massnahmen ergreifen. Ein komplementärer Ansatz, um zusätzliche Entscheidungshilfen im Ernstfall zu bieten, liegt in der Bereitstellung von Vergleichsmöglichkeiten mit Daten historischer Hochwasserereignisse. Die schnelle Verfügbarkeit von solchen visuell aufbereiteten Archivdaten ermöglicht es, «aus der Vergangenheit zu lernen». Analysen vergangener Hochwasser können zur besseren Beurteilung eines gerade ablaufenden Hochwassers beitragen. Vergangene Ereignisse werden erfasst und dokumentiert, indem quantitative und zeitlich hochaufgelöste Messdaten sowie qualitativ-deskriptive Daten gesammelt und archiviert werden. Beide Arten von Information können wertvolle Hilfe im Hochwassermanagement, in der Planung sowie bei der Realisierung von Schutzmassnahmen bieten.

In diesem Artikel wurde ein konzeptioneller und technischer Rahmen eines online-Werkzeuges diskutiert, welches webbasierte Echtzeitvisualisierungen von hydrometeorologischen Daten aus Schweizer Messnetzen erzeugt. Das Zielpublikum – operationelle Hydrologen – können auf einer grafischen Benutzeroberfläche die für sie relevanten Daten in verschiedenen Detaillierungsgraden und unterschiedlichen raumzeitlichen Skalen zu einer Karte zusammenstellen und interaktiv erkunden. Den automatisierten kartografischen Abläufen liegt ein flexibles und erweiterbares Datenmodell zu Grunde, welches in der Lage ist, sowohl Echtzeit- als auch historische Daten zu visualisieren. Die Einbindung von Daten weiterer Messnetze kann mit bescheidenem Aufwand bewerkstelligt werden. Es erstaunt allerdings wenig, dass die Qualität des präsentierten Werkzeugs auch stark vom Vorhandensein und der Fehlerfreiheit der Messdaten abhängt. Messnetzbetreiber sind angesprochen, die Aspekte der Datenverfügbarkeit und der Datenqualität im Hochwassermanagement zu berücksichtigen. Dies gilt insbesondere bei Schlüsselstellen oder in Gebieten, wo keine oder nur wenige Daten existieren, jedoch häufig Schäden auftreten.

Abgesehen von einigen technischen Bereinigungen am Werkzeug könnten, wie oben erwähnt, als Nächstes qualitative und multimediale Daten (z.B. Text, Fotografien, Video) integriert werden. Ferner wäre es denkbar, ein Hochwasservorhersagemodell in das Werkzeug einzubauen. Das hier vorgestellte online-Werkzeug möchte mit seinen automatisierten Abläufen, seinen Funktionalitäten und seinem interaktiven Datenzugang den verstärkten Bedarf nach zeitkritischen Informationen in der operationellen Hydrologie decken.

Danksagung

Dieses Projekt wird unterstützt vom Schweizerischen Nationalfonds (No. 200020-122291). Die verwendeten Daten stammen aus den Messnetzen des BAFU (Abteilung Hydrologie), der Meteo-Schweiz, den Kantonen St. Gallen und Zürich sowie OSTLUFT (Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone).

Literatur

BABS. (2008). Bevölkerungsschutz – Zeitschrift für Risikoanalyse und Prävention, Planung und Ausbildung, Führung und Einsatz (2/November 2008). Abgerufen am 19. Januar 2009, von http://www.bevoelkerungsschutz.admin.ch/internet/bs/de/home/dienstleistungen/infomat-babs/forum.html.

Bartholmes, J., Todini, E. (2005). Coupling meteorological and hydrological models for flood forecasting. Hydrology and Earth System Sciences 9(4): 333–346.

Berlekamp, J., Lautenbach, S., Graf, N., Reimer, S., Matthies, M. (2007). Integration of MONERIS and GREAT-ER in the decision support system for the German Elbe river basin. Environmental Modelling & Software 22(2): 239–247.

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

Black, A. R., Law, F. M. (2004). Development and utilization of a national web-based chronology of hydrological events. Hydrological Sciences Journal 49(2): 237–246.

De Kort, I. A. T., Booij, M. J. (2007). Decision making under uncertainty in a decision support system for the Red River. Environmental Modelling & Software 22(2): 128–136.

Jasper, K., Calanca, P., Gyalistras, D., Fuhrer, J. (2004). Differential impacts of climate change on the hydrology of two alpine river basins. Climate Research 26(2): 113–129.

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.

Li, X.-Y., Chau, K. W., Cheng, C.-T., Li, Y. S. (2006). A Web-based flood forecasting system

for Shuangpai region. Advances in Engineering Software 37(3): 146–158.
Lienert, C., Kunz, M., Weingartner, R., Hurni, L. (2009). Methods for Real-Time Visualization and Exploration Improvements of Precipitation Radar and Temperature Data in Web-Cartography (submitted). Proceedings of the 24th International Cartography Conference, Santiago de Chile.
Lienert, C., Schnabel, O., Hutzler, E., Hurni, L. (2008). A real-time flow map of the Swiss 1:200'000 river network. Considerations on its preparation and its dynamic integration into a web-based prototype. Proceedings of the 6th ICA Workshop on Mountain Cartography, Lenk, Switzerland.
Lienert, C., Weingartner, R., Hurni, L. (2007). Real-Time Cartography in Operational Hydrology. Proceedings of the 23rd International Cartography Conference, Moscow.
Lienert, C., Weingartner, R., Hurni, L. (2009). Real-Time Visualization in Operational Hydrology through Web-based Cartography. Cartography and Geographic Information Science 36(1): 45–58.
Maidment, D., Venkatesh, M., Whiteaker, T., Blongewicz, M., Arctur, D. (2002). Time Series. In: Maidment, D. (Ed.). Arc Hydro – GIS for Water Resources. Redlands, CA: ESRI Press, 141–166.
Neumann, A., Winter, A. M. (2003). Webmapping with Scalable Vector Graphics (SVG): Delivering the promise of high quality and interactive web maps. In: Peterson, M. P. (Ed.). Maps and the Internet. Amsterdam: Elsevier, 197–220.
Schwanbeck, J., Viviroli, D., Weingartner, R. (2008). Modellbasierte Sensitivitätsanalysen für das Berner Oberland. In: Bezzola, G. R. and Hegg, C. (Eds.). Ereignisanalyse Hochwasser 2005. Teil 2 – Analyse von Prozessen, Massnahmen und Gefahrengrundlagen. Bern und Birmensdorf: Bundesamt für Umwelt BAFU und WSL Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 48–58.
Todini, E. (1999). An operational decision support system for flood risk mapping, forecasting and management. Urban Water 1(2): 131–143.
Valpreda, E. (2004). GIS and Natural Hazards. In: Casale, R. and Margottini, C. (Eds.). Natural disasters and sustainable development. Berlin: Springer, 373–386.
Verbunt, M., Zappa, M., Gurtz, J., Kaufmann, P. (2006). Verification of a coupled hydrometeorological modelling approach for alpine tributaries in the Rhine basin. Journal of Hydrology 324(1-4): 224–238.
Vrugt, J. A., Gupta, H. V., Nualláin, B.O., Bouten, W. (2006). Real-Time Data Assimilation for Operational Ensemble Streamflow Forecasting. Journal of Hydrometeorology 7(3): 548–565.
Weingartner, R., Aschwanden, H. (1992). Abflussregimes als Grundlage zur Abschätzung von Mittelwerten des Abflusses. In: BWG (Ed.). Hydrologischer Atlas der Schweiz (Blatt 5.2). Bern: Bundesamt für Wasser und Geologie.

Anschrift der Verfasser
Christophe Lienert, Lorenz Hurni
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

Auslaufbauwerk des Geschiebesammlers Fromatta

(Kelchbach Naters, Wallis, Schweiz)

■ *J.-L. Boillat, M. Geiges-Mayaud, Ph. Teysseire*

1. Einleitung

Der Kelchbach ist ein rund 120 km flussaufwärts des Genfersees gelegener Zufluss des Rotten. Die bedeutenden Hochwasserereignisse der letzten Jahrzehnte haben gezeigt, dass die hydraulische Kapazität des Kelchbachs in seinem Unterlauf, im Bereich des Ortsdurchflusses von Naters, bei Hochwasser unausreichend ist *(Bild 1)*. Die Ursache für das bedeutende Kapazitätsdefizit liegt neben hydraulischen Gründen auch bei einem starken Gefällsknick im Längenprofil. Die starke Abnahme des Gefälles unterhalb des Knickpunktes führt zu einer Verminderung der Geschiebetransportkapazität und somit zu Auflandungen. Die heutige Abflusskapazität des Kelchbachs ist bereits für ein hundertjährliches Ereignis ungenügend (LCH, 2004).

Um das Risiko von Überschwemmungen zu verringern, soll einerseits das Geschiebe in einem Sammler oberhalb von Naters zurückgehalten und andererseits die Abflusskapazität zwischen Geschiebesammler und Mündung in den Rotten vergrössert werden. Für die Erhöhung der Abflusskapazität standen zwei Massnahmenvarianten zur Diskussion. Die erste umfasste den Bau eines «Hochwasserentlastungsstollens», dessen Umleit- bzw. Einlaufbauwerk mit dem bereits gebauten Geschiebesammler bei Fromatta oberhalb des Dorfes kombiniert wurde (VAW, 1999, Weber et al 2000). Die zweite, «Gerinneausbau» genannt, benutzt ebenfalls diesen Geschiebesammler am Dorfeingang, sieht aber eine Gerinneaufweitung und eine Anpassung des Längenprofils im Dorfbereich vor. Die Wahl fiel auf die Variante Gerinneausbau. Zwischenzeitlich ist das erste Los im Bau. Die Hauptaufgabe des Geschiebesammlers besteht darin, eine grösstmögliche Menge an Geschiebe zurückzuhalten, um die Gemeinde vor durch Auflandung verursachten Hochwassern zu schützen.

Unter Annahme der bei einem Extremhochwasser theoretisch erwarteten Wasser- und Geschiebemengen entstehen beim Abklingen des Hochwassers im Dorfbereich Ausuferungen, und zwar unabhängig von der gewählten Variante. Dies liegt daran, dass der Kelchbach bei abklingendem Hochwasser Geschiebe