



ERM-ABWASSERSYSTEM – ECHZEIT-MONITORING

Um der grösser werdenden Komplexität der Abwassersysteme in Zukunft erfolgreich begegnen zu können, sind ARA-Betreiber auf vertrauenswürdige Entscheidungsgrundlagen und leistungsstarke Instrumente angewiesen. Das Echtzeit-Monitoring-system RS URBAN liefert eine quantitative Übersicht über das gesamte System «Netz-ARA-Gewässer». Am Beispiel der ERM Morges werden zahlreiche Anwendungen und Mehrwerte präsentiert, die RS URBAN in den letzten Jahren generiert hat.

Jürg Elsener*; Raphael Mutzner; Murielle Thomet; Frédéric Jordan, Hydrique Ingenieure
Dominique Matthey; Tony Reverchon, ERM Morges

RÉSUMÉ

MONITORING EN TEMPS RÉEL POUR LE SYSTÈME D'ASSAINISSEMENT DE L'ERM

Avec le système de monitoring en temps réel RS URBAN, les exploitants de l'ERM (l'Association intercommunale pour l'Épuration des eaux de la Région Morgienne, ERM), et les décideurs disposent d'un instrument efficace pour répondre à leurs exigences actuelles et futures et faire face à la complexité accrue des systèmes d'évacuation des eaux urbaines.

Le système permet une quantification des évacuations dans les cours d'eau récepteurs, des afflux dans les bassins et les STEP ainsi que du pourcentage d'eaux parasites. Des comparaisons et des couplages de mesures au modèle permettent de réaliser des analyses en temps réel des processus réseau avec un traitement rapide et efficace des données. Les exploitants disposent en outre de fonctions d'alerte et d'avertissement en cas d'évacuations, de crues et de pollutions. Enfin, le système constitue un excellent instrument de communication pour tous les participants en assurant une meilleure transparence, en offrant une base commune et en permettant un reporting et une gestion des bassins versants simples.

EINLEITUNG UND ZIELE

Die Komplexität der Abwasserbehandlungssysteme wird immer grösser, u. a. durch verschärfte Umweltvorgaben, die Sensibilität der Bevölkerung sowie Aspekte wie Mikroverunreinigungen, Ressourcen-Rückgewinnung, Abwärmenutzung. Dies bedeutet, dass auch die Anforderungen an die ARA-Betreiber zunehmend steigen. Aus diesem Grund benötigen ARA-Betreiber heute vertrauenswürdige Entscheidungsgrundlagen über das Abwassersystem (Netz, ARA, Gewässer) und die entsprechenden Einzugsgebiete (EZG), im Hinblick

- auf einen effizienten Netzbetrieb (Siedlungs-EZG),
- auf einen optimalen Gewässerschutz (natürliches EZG),
- zur Unterstützung für zukünftige Investitionen und
- zur Anwendung des Verursacherprinzips für «Verschmutzer» und «Zahlende» (Wer zahlt für was, Neuverteilung der Kosten, Anreiz für kommunale Investitionen).

Weiter ist der Nachweis von Wassermengen (u. a. Anteil Fremdwasser) und Verschmutzungen für die Netzwerkqualität in den einzelnen Einzugsgebieten von zentraler Bedeutung. Dies wiederum ist wichtig u. a. für Kommunikation mit Gemeinden, Politikern, Öffentlichkeit und Berichterstattung an die Behörden.

* Kontakt: juerg.elsener@hydrique.ch

(Titelbild: Morges)

RS URBAN, ein Echtzeit-Monitoring-System, hat zum Ziel, eine quantitative Übersicht (im Sinne einer Referenz) für das gesamte Abwassersystem bereitzustellen. Dazu gehören folgende Punkte:

- Kenntnis der wichtigsten Funktionen des Entwässerungsnetzes mit quantitativen Angaben zu Abflüssen, Schmutzfrachten und Temperatur, insbesondere die Bestimmung der Entlastungen/Überläufe in die Umwelt.
- Erkennen von unerwünschten Zuflüssen (z.B. Fremdwasser) mit dem Ziel, diese Zuflüsse zur ARA zu reduzieren. Entsprechende *In-situ*-Messungen planen und durchführen.
- Verifizieren der Qualität der Anschlüsse und Leitungen sowie des Zustands der Trennung von Regen- und Abwasser im Entwässerungsnetz.
- Warnungen bei direkten Entlastungen in die Umwelt, quantifizieren der Überläufe aus Regenbecken und Pumpstationen durch Modellsimulationen.

- Quantifizieren der Zusammensetzung der Zuflüsse zur ARA, um die Behandlungsprozesse zu optimieren, dadurch den Wirkungsgrad der ARA zu erhöhen sowie die Betriebskosten zu senken.
- Warnungen an die Bevölkerung bei Hochwassersituationen [1].

FALLBEISPIEL ERM

Der Aufbau und die Implementierung von RS URBAN wird nachfolgend am Beispiel der *Epuration Région Morgienne* (ERM) vorgestellt und illustriert. Die ERM lässt sich durch folgende Kennzahlen charakterisieren:

- 72 km Sammelleitungen
- 1548 Kontrollschächte
- 17 Pumpstationen (*stations de relevage*)
- 20 Regenbecken (*ouvrages spéciaux DO*)
- 34 900 Einwohnergleichwerte (2016)
- Mittlere behandelte Wassermenge: 10 700 m³/Tag
- Behandlungskapazität: 650 l/s

DAS ECHTZEIT-MONITORING-SYSTEM RS URBAN

Die Funktionsanalyse und Überwachung des interkommunalen Abwassernetzes ERM wurde mit der Software RS URBAN umgesetzt (Fig. 1). RS URBAN ermöglicht die hydrologische und hydraulische Modellierung sowohl des Siedlungseinzugsgebietes wie auch des natürlichen Einzugsgebietes (EZG) mit einem semi-distribuierten Modellkonzept und einem objektorientierten Ansatz [2].

Die folgenden Siedlungsentwässerungsprozesse können mit RS URBAN abgebildet werden: Zuerst die Haushalt- und Industrieabwässer anschliessend das Regenwasser. Letzteres wird durch eine Niederschlag-Abfluss-Modellierung bestimmt. Messdaten von in der Nähe liegenden Wetterstationen (Niederschlag, Temperatur) werden als Eingangsdaten verwendet. Die hydrologischen Prozesse, speziell Schneefall und Schneeschmelze

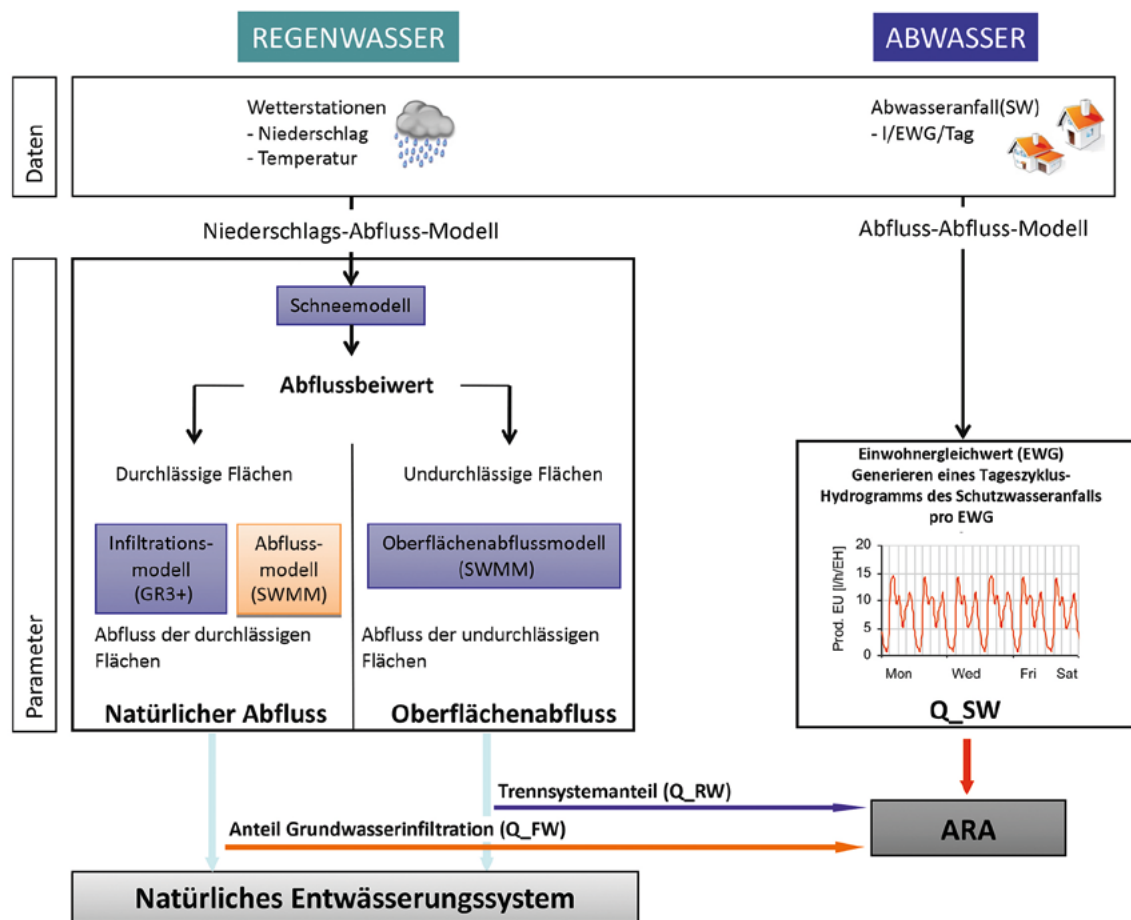


Fig. 1 Modellierungskonzept des Einzugsgebietes, erstellt mit dem Echtzeit-Monitoring-System RS URBAN

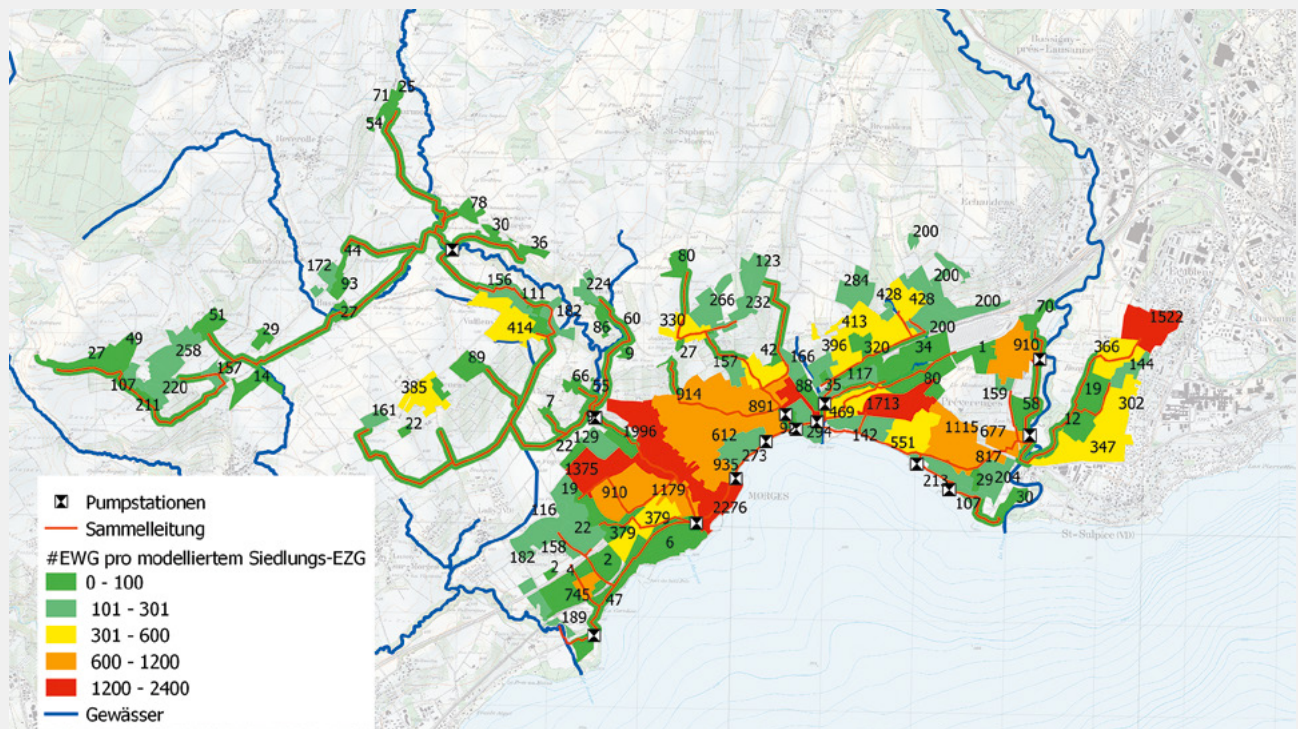


Fig. 2 Anzahl Einwohnerequivalente (EGW) pro modelliertem Siedlungseinzugsgebiet

sowie oberflächliche und unterirdische Abflüsse im Einzugsgebiet, werden eingebunden [3]. Speziell wird auch die Bildung von Fremdwasser in den Leitungen durch Infiltration aus dem Grundwasser erfasst. RS URBAN berücksichtigt zudem Abflüsse, die aus Punktquellen stammen. Die hydrologische Reaktion des EZG hängt von der EZG-Charakteristik ab. Das ganze EZG wird in Unter-EZG aufgeteilt, die typischerweise zwischen 5–15 ha gross sind. Die Berücksichtigung des Regenwassers erfolgt über einen Abflusskoeffizienten und den Anteil Trennsystem. Die verschmutzten Abwässer werden für jedes Unter-EZG als Funktion der Einwohnerequivalente (EGW) hergeleitet. Sie basieren auf dem mittleren täglichen Wasserverbrauch und dem typischen stündlichen/täglichen/monatlichen Verlauf, der auf Beobachtungen in der ARA des ERM basiert.

Figur 1 zeigt das Modellkonzept eines Unter-EZG in RS URBAN. Es illustriert insbesondere den Unterschied der Modellierung des Regenwassers und des verschmutzten Abwassers. Für das Regenwasser wird die Modellierung der durchlässigen und undurchlässigen Oberflächen sehr detailliert durchgeführt, wobei auch der Anteil Trennsystem und das Fremdwasser berücksichtigt wird. Die Unterscheidung der durchlässigen von den undurchlässigen Flächen geschieht durch den Abflusskoeffizient

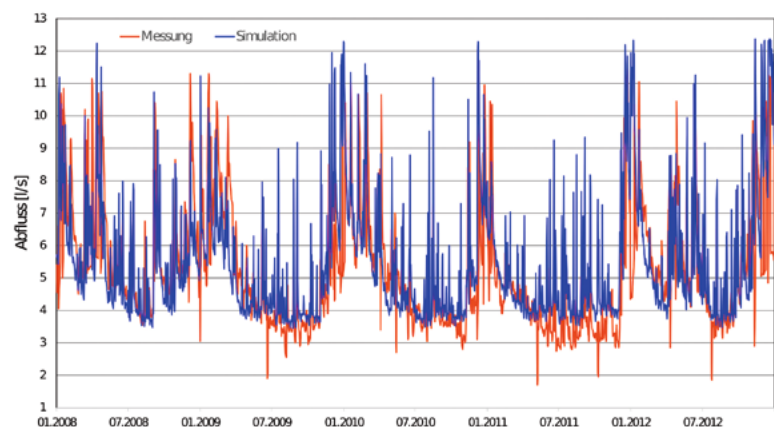


Fig. 3 Abflüsse bei der Pumpstation Pont de Vaux von 2008 bis 2012, blau simuliert, rot gemessen, saisonale Unterschiede durch Anteil Fremdwasser

Cr. Der Regenwasser-Beitrag wird mit zwei Modellen berechnet (Fig. 1). Zuerst werden die Niederschläge auf undurchlässigen Flächen direkt mit dem Modell SWMM über die Berechnung des Oberflächenabflusses simuliert. Dieses Wasser wird gemäss dem Trennsystem-Anteil dem Regenwasser- oder Schmutzwasser-System zugeführt. Die Niederschläge auf durchlässigen Oberflächen werden davor teilweise versickert oder sie verdunsten. Der Wasseranteil, der versickert, wird mit dem Modell GR3 dem Basisabfluss, ein Teil davon dem Fremdwasser zugefügt.

Es wird angenommen, dass die durchlässigen Flächen ein Potenzial haben, Fremdwasser zu generieren, indem Wasser im Boden in die Leitungen infiltriert. So wird der Anteil Fremdwasser für jedes Einzugsgebiet modelliert, der ins Schmutzwassersystem statt ins Regenwassersystem geleitet wird. Diese Art der Modellierung basiert auf der Hypothese, dass es eine Proportionalität zwischen dem Anteil Fremdwasser und den durchlässigen Flächen gibt. Die damit verbundene Annahme ist, dass die Anzahl Leitungen und damit die Wahr-



Fig. 4 Pumpstation PontVaux von März bis April 2018 (aus der Web-Plattform erm.swissrivers.ch); Abfluss (Messung rot, Simulation braun), Fremdwasser Simulation (gelb), Abwasser Simulation (orange) und Regenwasser Simulation (hell orange), saisonale Unterschiede durch Anteil Fremdwasser



Fig. 5 Die Online-Karte auf der Web-Plattform erm.swissrivers.ch zeigt die Situation im Netz der ERM Morges am 3. Januar 2018 bei starken, prognostizierten Niederschlägen. In der Übersicht sind drei kritische Punkte erkennbar: das Anspringen von 2 Regenüberläufen und das Erreichen der maximalen hydraulischen Kapazität (Warnstufe 2) beim Zufluss zur ARA (Warnstufen durch den Betreiber definiert).

scheinlichkeit von Leitungsdefekten, proportional zur angeschlossenen Fläche ist. Das so hergeleitete Fremdwasser wird in RS URBAN durch die durchlässigen Flächen, durch den Anteil Trennsystem und durch den Parameter «Anteil Fremdwasser» beeinflusst. Diese Arbeitshypothese ist speziell aussagekräftig, wenn der Anteil Fremdwasser im Schmutzwassernetz erhöht ist, und wenn saisonale Infiltrationsphänomene im Netz stattfinden. Für die Modellierung werden Netzvereinfachungen vorgenommen, um die Berechnungszeit für Langzeitsimulationen zu begrenzen. Diese Vereinfachungen betreffen hauptsächlich die Anzahl der Einzugsgebiete und Leitungen (und so die berücksichtigten Schächte). Im Mo-

dell sind diejenigen Sonderbauwerke berücksichtigt, die wichtige Beiträge zu den Überlaufstatistiken liefern.

Figur 2 zeigt die Verteilung der Modell-EZG im ERM-System. Die Anzahl Unter-EZG ist soweit begrenzt, um Langzeit-Berechnungen zu ermöglichen (mehrjährige Simulationen). Das Modell ist in 142 Siedlungs-EZG aufgeteilt. Die Abflusskoeffizienten sind auf der Grundlage des Landnutzungskatasters und von Flächenkoeffizienten des VSA abgeschätzt. Die gesamte ERM-Einzugsgebietsfläche beträgt rund 1398 ha, die reduzierte Einzugsgebietsfläche ca. 482 ha. Der Trennsystem-Anteil wurde dem Gemeinde-GEP und dem Anteil Mischwasserleitungen im Gemeindefeld oberhalb des ERM-Netzes

entnommen. Um eine möglichst gute Übereinstimmung der Simulationsergebnisse mit den Messungen in den wichtigsten Kontrollpunkten zu erreichen, wurde auf der Grundlage von historischen ARA-Daten ein Kalibrierungs- und Validierungsverfahren durchgeführt. Dieses Verfahren umfasst das Anpassen von hydrologischen Modellparametern und das Validieren der EZG-Charakteristiken. RS URBAN wurde für die Periode 2008–2012 mit kontinuierlichen Messungen zuerst beim Zufluss der ARA kalibriert. Die Ergebnisse zeigen bereits eine gute Qualität der Modellsimulation bei der ARA für die Gesamtheit der EZG. Weiter ist es interessant zu sehen, wie die Basiszuflüsse zur ARA stark variieren, was wiederum auf einen grossen Anteil Fremdwasser im ERM-EZG hindeutet. Die Lokalisierung des Fremdwassers ist eine wichtige Fragestellung.

In einem nächsten Kalibrationsschritt wurden die Tagesmesswerte in den Pumpstationen beurteilt. Gute Übereinstimmungen in den Pumpstationen wurden in Pont de Vaux und Combaz erzielt, weniger gute z.B. in Croix-de-Rive, Stand und Taudaz. Die Figuren 3 und 4 zeigen das Beispiel der Pumpstation Pont de Vaux, einmal ein Vergleich der simulierten und gemessenen Werte (Fig. 3), einmal als Ergebnis aus der Web-Plattform erm.swissrivers.ch (Fig. 4). Es sind grosse saisonale Unterschiede bei den Pumpmengen zu sehen, was nicht charakteristisch für Schmutzwassernetze ist und mit dem saisonalen Anteil Fremdwasser erklärt werden kann. Dabei ist es für eine bessere Kalibration und zur besseren Erkennung des Fremdwassers notwendig, mehr in den Ursprung des Modells, d.h. weiter weg von der ARA zu gehen.

Weiter wurden im Rahmen der GEP-Erarbeitung Messkampagnen durchgeführt. Lokal haben diese Messungen die Anpassung der Trennsystem-Anteile ermöglicht. Weiter braucht es neuere Messungen, da durch Bauarbeiten das Entwässerungssystem angepasst wurde (z.B. Trenn- statt Mischsystem, Leitungssanierungen).

In den vergangenen Jahren wurden Messkampagnen durchgeführt, um die Kenntnisse des Netzes im EZG besser kennenzulernen und um Modellparameter detaillierter zu validieren oder anpassen zu können. Die Messkampagnen dauern mehrere Monate, auch um saisonale Effekte beim Fremdwasser zu erkennen.

Zusammenfassend werden die wichtigsten Prozesse in einer dynamischen Anzeige auf der Web-Plattform *erm.swissrivers.ch* dargestellt (Fig. 5). Dazu gehören Bauselemente wie Fließgewässer (1), Ent-

wässerungsleitungen (2) und EZG und Unter-EZG (3). Weiter erhält man Echtzeit-Informationen zu den Spezialbauwerken wie Alarm bei der ARA (4), Entlastung Regenbecken (5) und Pumpstationen (6).



Fig. 6 Kurz- und langfristige Mehrwerte des Echtzeit-Monitorings in den Bereichen Quantifizierung, Expertise und Analyse, Alarmierung und Warnung sowie Kommunikation

RESULTATE UND MEHRWERTE

Das Echtzeit-Monitoring-System der ERM generiert zahlreiche Mehrwerte für Netzbetreiber und weitere betroffene Stellen (Fig. 6). Dazu gehören:

- Quantifizierung von Entlastungen in Vorfluter, von Zuflüssen zu Becken und ARA, von Fremdwasseranteilen
- Echtzeit-Analysen der Netzprozesse, Vergleiche Modell-Messungen, schnelle und effiziente Datenverarbeitung
- Alarmierungs- und Warnfunktionen bei Entlastungen, Überflutungen, Verschmutzungen
- Kommunikationsinstrument zur besseren Transparenz für alle Beteiligten, gemeinsame Grundlagen, einfaches Reporting, EZG-Management

Darüber hinaus bietet die angewendete Technologie im Hinblick auf das EZG-Management weitere Vorteile:

- Analyse- und Planungswerkzeug als dynamische Datenbasis
- Gemeinsame Arbeitsgrundlage für die Betreiber und die Gemeinde- und Kantonsvertreter

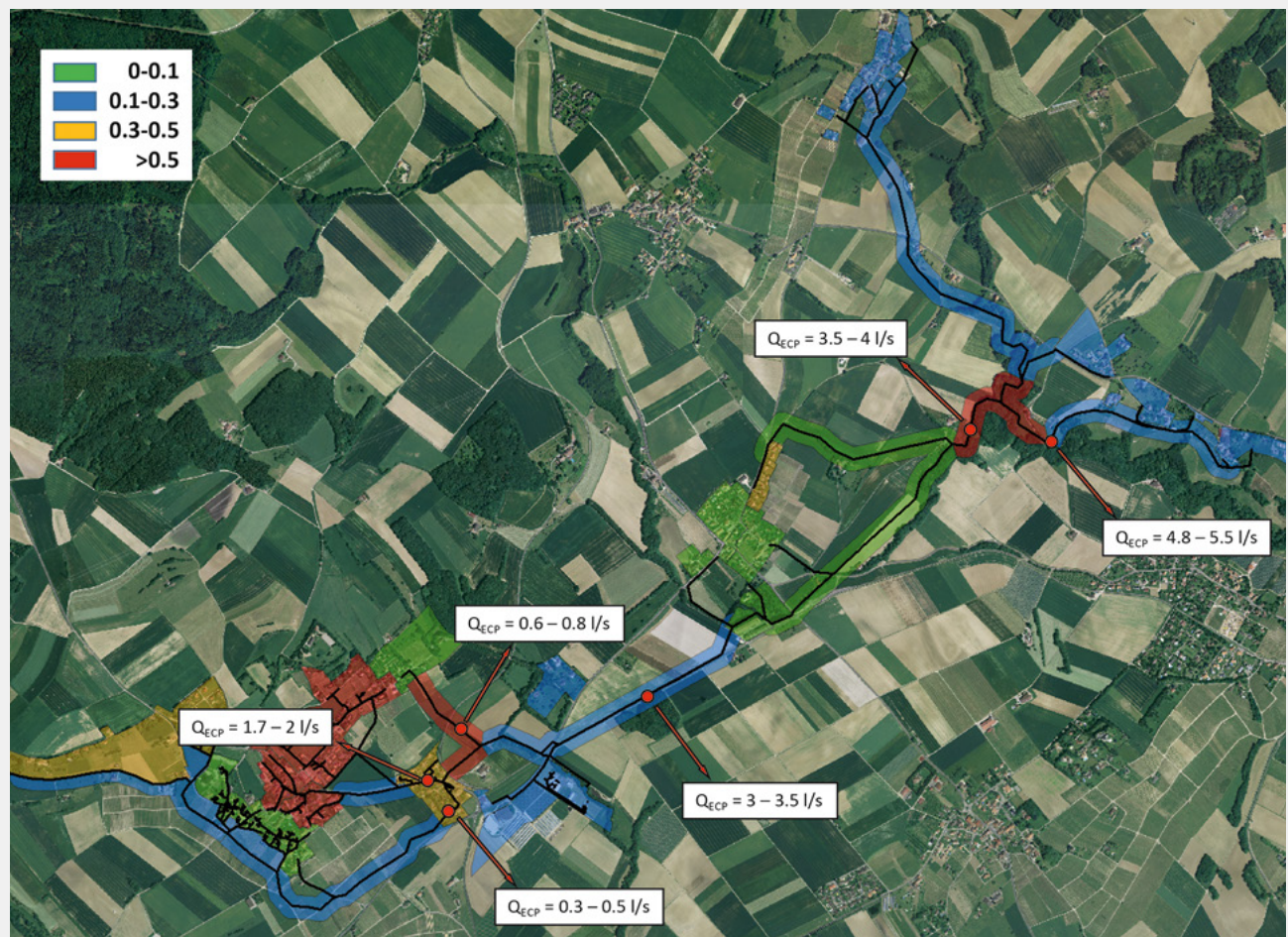


Fig. 7 Fremdwasseranfall in der trockenen Jahreszeit in den wichtigsten Kontrollpunkten oberhalb von Pont de Vaux

- Verifizieren von Überlegungen und Schlüsse im Fall von aktuellen Ereignissen und bei Messungen durch den Betreiber dank Prognosefunktionen

Somit bietet das System für alle Beteiligten eine einheitliche Analysegrundlage für das Einzugsgebiet. Aspekte wie die gemeinsame Datengrundlage oder die Vorbeugung von Umweltrisiken werden damit ebenfalls berücksichtigt. Schliesslich wird die Kommunikation unter den wichtigsten Akteuren deutlich verbessert. Nachfolgend werden einige konkrete Beispiele für Mehrwerte aus der ERM-Praxis präsentiert und erläutert.

KONZEPT FÜR NEUANSCHLÜSSE AN DIE ARA

Mit RS URBAN konnte die zukünftige Erweiterung des ERM-EZG um die Gemeinden Reverolle, Apples, Echandens und Ecublens abgebildet und die Konsequenzen für die ARA überprüft werden. Mit diesen Neuanschlüssen würden die heutigen EGW von rund 35 000 auf ca. 62 000 im Jahr 2040 steigen.

Im Modell wurden Szenarien zur Bevölkerungsentwicklung berücksichtigt, in dem z. B. Abflusskoeffizienten in Funktion des Bevölkerungswachstums angepasst wurden. Weiter wurde angenommen, dass sich weder der Trennsystemanteil noch die Schmutzwasserproduktion ändert. Zudem bleibt der Fremdwasseranteil über die verschiedenen Gemeinden hinweg unverändert.

Die detaillierten Kenntnisse des Systems und die Modellierung für jedes Unter-EZG erlaubten es, zukünftige Zuflüsse realistisch zu simulieren. Durch die wichtigen Annahmen zur Netzqualität (Anteil Trennsystem und unveränderter Fremdwasseranteil) ist man mit dem Modell auf der sicheren Seite.

Die Zuflussanalyse zeigt, dass 90% der Zuflüsse unter dem Wert von 300 l/s verbleiben, der Rest wird bei Regenereignissen produziert, was zu starken Verdünnungseffekten führt.

Um auch in Zukunft einen optimalen Gewässer- bzw. Umweltschutz zu gewährleisten, hat der Betreiber entschieden, die Abwasserbehandlung (inkl. Mikroverunreinigungen) mit einer zusätzlichen Kapazitätsmarge von 20% zu dimensionieren. Bei Zuflüssen über 360 l/s ist eine ergänzende Behandlung für 590 l/s (= zusätzliche Behandlungslinie, ohne Mikroverunreinigungen) geplant, was zu einer maximalen Kapazität von 950 l/s bei

Regenereignissen führt. Die aktuelle Kapazität der ARA liegt bei 650 l/s. Bei der vorgesehenen Lösung wird die Behandlung der Mikroverunreinigungen optimiert, was Kosten reduziert. Mit dieser Dimensionierung von 360 l/s beträgt die Kapazität der Behandlung der Schmutzfrachten der ARA rund 98%.

FREMDWASSERERFASSUNG YENS / LONAY

Die Analyse der Simulationen bei Pont de Vaux (Fig. 3 und 4) haben gezeigt, dass der Fremdwasseranteil in feuchten Perioden zwischen Herbst und Frühling bis 80% der Abflüsse ausmachen kann (Saisonalität). Das Fremdwasser entsteht in den Leitungen zwischen Yens und Pont de Vaux.

Die Messkampagne hat gezeigt, dass es eine Zone im Bereich der Bäche Curbit und La Morges gibt, wo wichtige Einträge in die Leitungen beobachtet werden. Hier liegen die Leitungen vertikal nahe bei

den Gewässern. Im Bereich der oberliegenden Gemeinden hat die Kopplung von Messung und Modell die Bereiche erkennen lassen, wo Fremdwasser produziert wird, sowie diejenigen EZG mit wenig bis keinem Fremdwasser (Fig. 7).

In EZG mit hohem Fremdwasseranteil können durch punktuelle weitere Messungen die wichtigsten Fremdwasserquellen des Dorfes identifiziert werden. Diese Beurteilung ermöglicht eine Bestätigung der Fremdwasserannahmen auf Stufe EZG. Weiter können mit den Messkampagnen Leitungsabschnitte mit schlechter Leitungsqualität erkannt werden.

Während der gesamten Messkampagne wurden die Echtzeit-Messresultate auf der Web-Plattform erm.swissrivers.ch publiziert, was eine vollständige Transparenz der Ergebnisse und der Arbeitsannahmen ermöglichte. Die ARA-Betreiber verfügten so gegenüber den ERM-Mit-

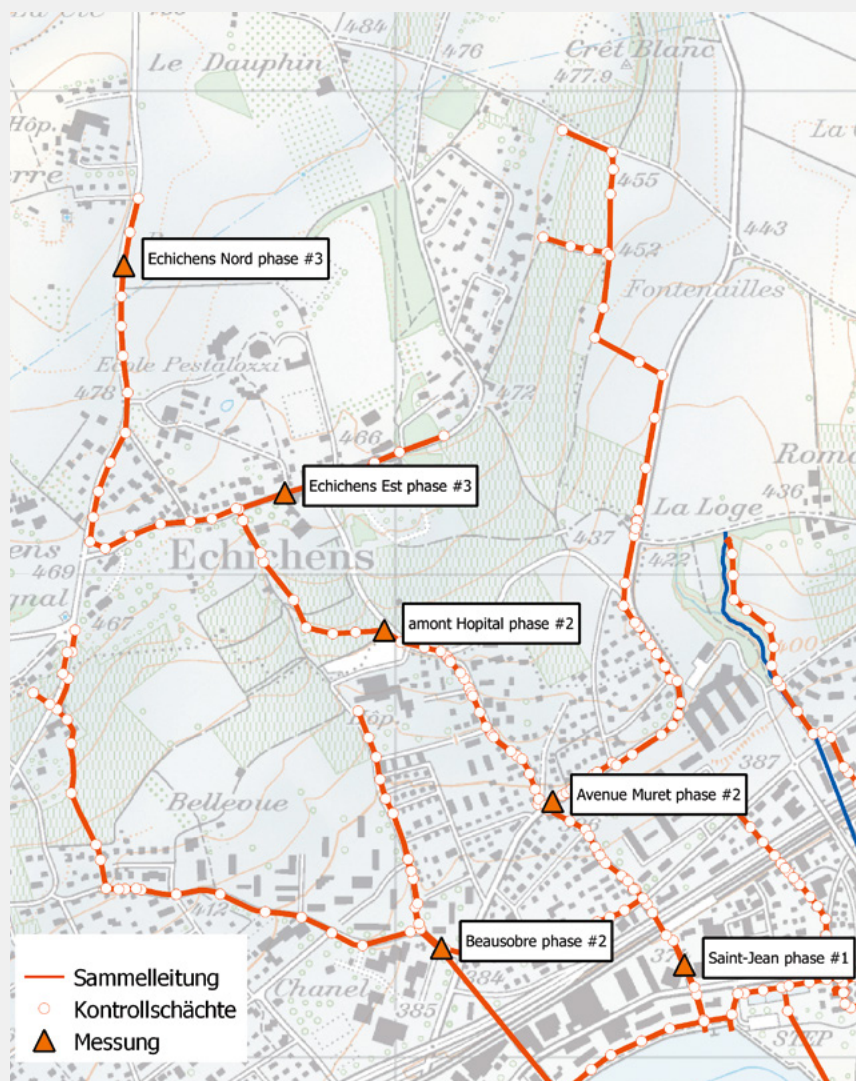


Fig. 8 Darstellung der verschiedenen Phasen einer Echtzeit-Messkampagne für ERM-Sammelleitungen

gliedsgemeinden über ein effizientes Kommunikationswerkzeug.

MESSKAMPAGNEN GEZIELT PLANEN, MODELL-ANNAHMEN IN ECHTZEIT VERIFIZIEREN

Auf der Basis von RS URBAN können Messkampagnen gezielt geplant, Modellannahmen verifiziert und die Modellqualität weiter verbessert werden. Nachfolgend wird ein Beispiel einer Echtzeit-Messkampagne im Gebiet Echichens beschrieben (Fig. 8).

Die Messkampagne wurde in drei Phasen unterteilt:

Erste Phase

Messkampagne in der Sammelleitung Saint-Jean während sieben Monaten. Dabei wurde in diesem EZG ein Fremdwasseranteil von 43% abgeschätzt.

Zweite Phase

Während 3,5 Monaten wurden Messungen in drei Hauptleitungen durchgeführt, inkl. Januar bis März, wo Fremdwasser am grössten ist. Aufgrund der Messergebnisse wurde die Kalibrierung angepasst (s. Fig. 9 als Beispiel für die Messung an einem Punkt im benachbarten EZG). Der

Fremdwasseranteil wurde beispielsweise beim Messpunkt Beausobre von 9 auf 21% und für den Messpunkt Amont Hôpital von 38 auf 41% erhöht. Die Haupt-Fremdwasserquelle befindet sich oberhalb des Messpunkts Hôpital.

Dritte Phase

Aktuelle Messkampagne in den Leitungen oberhalb des Messpunkts Amont Hôpital für die Punkte Echichens Ost und Echichens Nord, zur Erkennung der wichtigsten Fremdwasserquellen in diesem Abschnitt.

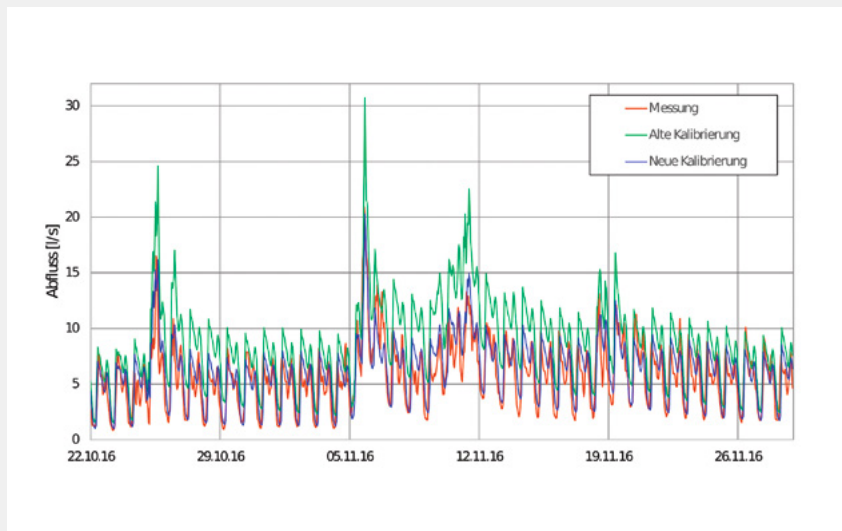


Fig. 9 Messkampagne beim Punkt «Avenue Monod» im benachbarten EZG, rot die Messung, grün die alte Kalibrierung, grün und blau die neue Kalibrierung

Die Auswertung der Echtzeit-Messungen hat es ermöglicht, einen besseren Überblick über das Fremdwasser während der kritischen Periode zu erhalten. Während gewissen Messperioden wurde an der Qualität der Messungen gezweifelt. Bei einer Feldbegehung konnte eine Sand- und Kieselansammlung in einem Schacht erkannt werden, die von einem defekten Schachtdeckel herrührte.

Ein Beispiel der Messauswertung für das Fremdwasser über eine Periode von zweimal sechs Monaten ist in Figur 10 dargestellt.

FAZIT UND AUSBLICK

Mit dem Echtzeit-Monitoring-System RS URBAN verfügen die ERM-Betreiber und Entscheidungsträger über ein wirkungs-

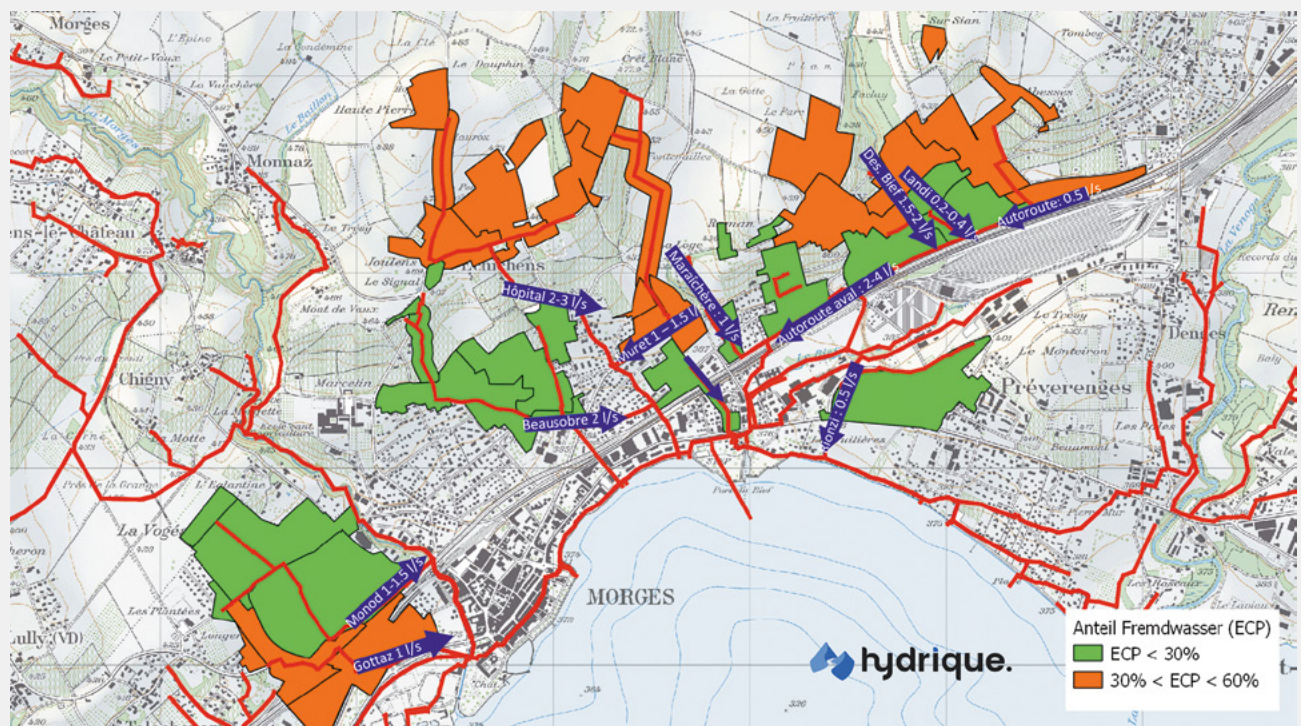


Fig. 10 Fremdwasser in l/s an verschiedenen Messpunkten und geschätzte Fremdwasseranteile in den EZG

volles Instrument, um den heutigen und zukünftigen Anforderungen sowie der gestiegenen Komplexität der Abwasserbehandlungssysteme erfolgreich begegnen zu können.

Das System erlaubt eine Quantifizierung von Entlastungen in Vorfluter, von Zuflüssen zu Becken und ARA und von Fremdwasseranteilen. Durch Vergleiche und Kopplungen von Messungen mit dem Modell können Echtzeitanalysen der Netzprozesse durchgeführt werden und das mit einer schnellen und effizienten Datenverarbeitung.

Zusätzlich verfügen die Betreiber über Alarmierungs- und Warnfunktionen bei Entlastungen, Überflutungen, Verschmutzungen. Schliesslich ist das System ein hervorragendes Kommunikationsinstrument zur besseren Trans-

parenz für alle Beteiligten, gemeinsame Grundlagen, einfaches Reporting und EZG-Management.

In der Zukunft könnte man sich vorstellen, das bestehende Echtzeit-Monitoring-System (mit Zuflussprognosen) an ein Wetterprognose-System zu koppeln. Dadurch könnte die Kapazität der Regenbecken besser gesteuert werden, was im heutigen System noch nicht möglich ist. Obwohl langfristig eine Reduktion der Anzahl an Regenbecken angestrebt wird, kann eine Echtzeit-Bewirtschaftung der Kapazitäten von einzelnen Sonderbauwerken eine Verminderung der Entlastungen in die Umwelt bewirken.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Jordan F. et al. (2008): MINERVE: Modélisation des Intempéries de Nature Extrême du Rhône Valaisan

DANK

Dieser Artikel ist mit freundlicher Unterstützung der ERM-Verantwortlichen entstanden. Wir bedanken uns insbesondere bei *Dominique Matthey* und *Tony Reverchon* für das persönliche Engagement.

et de leurs Effets. Communication LCH No 38, ed. A. Schleiss, EPFL, Lausanne

- [2] Jordan, F. (2007): *Modèle de prévision et de gestion des crues – Optimisation des opérations des aménagements hydroélectriques à accumulation pour la réduction des débits de crue*, s.l.: PhD thesis n° 3711, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne
- [3] Schaeffli, B. et al. (2005): *A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments*. Hydrological Earth System Science Discussion, pp. 73–117



multicolor print

Multicolor Print AG
Sihlbruggstrasse 105a
CH-6341 Baar
www.multicolorprint.ch

DIE KÖNNEN DAS.



Universität St. Gallen



Tagung 2019:

Aktuelle Rechtsfragen im Bau-, Planungs- und Umweltrecht

Donnerstag, 28. November 2019 im
Grand Casino Luzern

Die Tagung beschäftigt sich mit den öffentlich-rechtlichen Brennpunkten und beleuchtet den aktuellen Stand sowie die möglichen Entwicklungen dieses Rechtsbereichs.

Die Veranstaltung richtet sich an juristisches Fachpersonal und Interessierte.

Weitere Informationen und Anmeldung unter:

irp.unisg.ch/baurecht oder
+41 71 224 2424

«Wissen schafft Wirkung»