



## **BASEMENT Anwendertreffen 2020**

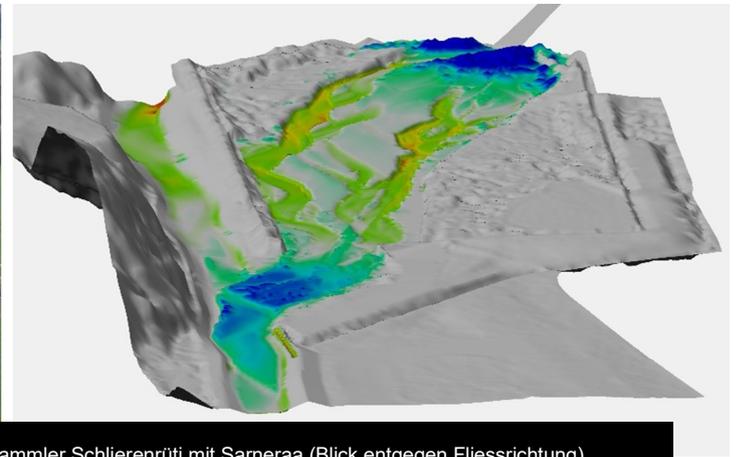
30. Januar 2020

HSR, Rapperswil

## **Kurzfassungen der Vorträge**

Veranstalter:

Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie (VAW), ETH Zürich  
Institut für Bau und Umwelt, Hochschule für Technik Rapperswil (HSR)



**Links:** Bestehender Geschiebesammler Schlierenrüti mit Sarneraa (Blick entgegen Fließrichtung)  
**Rechts:** Ablagerungen und Erosionen innerhalb des Geschiebesammlers (mit projektierte Teilöffnung)  
nach vier Jahren unter Anwendung einer generischen Ganglinie mit den 15 abflussstärksten Tagen

## Morphodynamische 2D-Modellierung des Geschiebesammlers Schlierenrüti

### BASEMENT-Anwendertreffen 2020

**Projektbearbeitung**  
Carmen Lageder  
Daniel Ehrbar  
Christoph Ruedlinger

**Kontakt**  
Basler & Hofmann AG  
Bachweg 1  
8133 Esslingen

carmen.lageder@baslerhofmann.ch  
044 387 15 70

#### Projektbeschreibung

Die Sarneraa weist vom Wichelsee bis zum Alpnachersee aufgrund der fehlenden Geschiebezufuhr eine strukturlose und kolmatisierte Sohle auf. Grund für das Geschiebedefizit ist unter anderem der Geschiebesammler Schlierenrüti, der die Geschiebezufuhr durch die Grosse Schliere in die Sarneraa unterbindet. Zur Sanierung des Geschiebehaushalts der Sarneraa ist die Teilöffnung des Geschiebesammlers geplant, sodass im Hochwasserfall Geschiebe aus dem Sammler in die Sarneraa eingetragen wird.

#### Ziele der morphodynamischen 2D-Modellierung

Ziel des Projekts war es, die Anwendbarkeit eines morphodynamischen 2D-Modells für einen Geschiebesammler zu eruieren und die Geschiebedurchgängigkeit im Sammler zu untersuchen. Dazu wurde unter Verwendung der Software BASEMENT ein morphodynamisches 2D-Modell entwickelt. Damit konnten die Sohlenveränderungen (Ablagerungen und Erosion) innerhalb des Geschiebesammlers und die Geschiebeausträge aus dem Sammler in die Sarneraa (d.h. die Geschiebedurchgängigkeit) qualitativ und quantitativ untersucht werden.

#### Modellinfos

Das hydrodynamische 2D-Modell des Geschiebesammlers Schlierenrüti wurde im Rahmen eines Innovationsprojekts von Basler & Hofmann durchgeführt. Das Mehrkorn-Modell umfasst acht Kornfraktionen zwischen 2.5 und 250 mm und berücksichtigt den fraktionsweisen Geschiebetransport. Die mittlere Elementgröße des Berechnungsnetzes beträgt ca. 1.5 m<sup>2</sup>. Der Geschiebesammler Schlierenrüti wurde mit ca. 30'000 Elementen diskretisiert. Das Modell umfasst insgesamt über 150'000 Elemente. Es wurden Ereignisse mit einer Dauer von 60 Tagen simuliert. Dadurch wurden hohe Anforderungen sowohl an die Software als auch die Hardware gestellt.

#### Resultate und Schlussfolgerungen

Mit dem morphodynamischen 2D-Modell des Geschiebesammlers Schlierenrüti konnten die erwarteten morphologischen Prozesse (Auflandungen, Erosionen, Morphologie) im Sammler gut nachgebildet werden. Das Modell wurde anhand von Orthofotos und den Resultaten eines anderen numerischen Modells plausibilisiert. Insbesondere die ausgetragenen Geschiebemengen sind aufgrund der fehlenden Kalibrierung / Validierung (keine geeigneten Messdaten vorhanden) mit Unsicherheiten behaftet.

# Untersuchung der Vegetationsentwicklung in einem aufgeweiteten Gerinne mit BASEMENT

Andrea Irniger & Roni Hunziker, Hunziker, Zarn & Partner, Aarau

## Ausgangslage

Im Rahmen des 2012 realisierten Hochwasserschutz- und Revitalisierungsprojekts an der Emme in Biberist wurde die Sohle von 25 m auf 40 m aufgeweitet. Wie erwartet bildete sich in dem aufgeweiteten Abschnitt eine strukturierte Sohle mit alternierenden Bänken aus. Auf diesen breitete sich in den letzten Jahren Vegetation aus (Abb. 1) und es stellte sich die Frage, ob die Hochwassersicherheit noch gewährleistet ist.



Abb. 1: Drohnenaufnahme (14.06.2019)

## Ziel der Untersuchung

Mit BASEveg bietet BASEMENT die Möglichkeit, die Entwicklung der Vegetation zu modellieren. Die beobachteten Veränderungen an der Emme wurden als Anlass genutzt, um folgende Fragen zu untersuchen:

- Kann die Entwicklung der Vegetation reproduziert werden?
- Kann mit dem Modul der Einfluss auf die Hochwasserspiegel untersucht werden?

## Methodik

**Referenzdaten:** Mit Hilfe von Orthofotos wurde die mit Vegetation bewachsene Fläche von 2014, 2016 und 2019 kartiert.

**Modellgeometrie:** Für die Beschreibung des Gerinnes standen Querprofilaufnahmen nach Bauabschluss (2013) zur Verfügung.

**Abflussganglinie:** Für die Untersuchung der Vegetationsentwicklung wurde eine vereinfachte Abflussganglinie generiert, die aus einer Abfolge von Jahresmaxima und einem Niederwasserabfluss besteht. (Abb. 2).

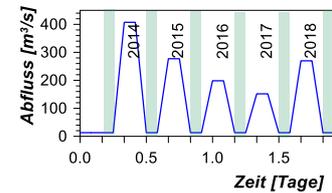


Abb. 2: Verwendete Abflussganglinie

**Parameteranalyse:** Im Sinne einer Sensitivitätsanalyse wurde die Abhängigkeit der Vegetationsentwicklung vom Abfluss während der Vegetationszeit und vom Spezialisierungsgrad der Vegetation ( $\lambda$ ) untersucht.

**Auswertung:** Für die Beurteilung der Modellgüte wurde die berechnete bewachsene Fläche (Biomasse > 0.001) mit der kartierten Fläche verglichen. Zudem wurde die Veränderung der Biomasse sowie der Effekt der Vegetation auf die maximalen Wasserspiegel bei HQ30 untersucht.

## Resultate

**Parameteranalyse:** Die Vegetation breitet sich im Modell auf den Ufern und auf den Kiesbänken aus, die nicht ganzjährig überströmt sind. Eine strukturierte Sohle bildet somit die Voraussetzung für ein Wachstum der Vegetation auf der Sohle. Der Abfluss während der Vegetationszeit beeinflusst die räumliche Ausbreitung der Vegetation. Je kleiner dieser Abfluss gewählt wird, desto grösser ist die berechnete, bewachsene Fläche auf der Sohle. Der Spezialisierungsgrad der Vegetation bestimmt das Wachstum der Biomasse. Bei nicht optimalen Verhältnissen erreichen «Generalisten» eine grössere Biomasse.

**Modellgüte:** Der Vergleich der kartierten Flächen mit den Simulationsergebnissen (Tab. 1) deutet auf eine Überschätzung der im Modell berechneten, bewachsenen Fläche hin.

Tab. 1: Vergleich des prozentualen Anteils der bewachsenen Fläche

|              | Realität | Modell |
|--------------|----------|--------|
| <b>Sohle</b> | 7%       | 16%    |
| <b>Ufer</b>  | 80/90%   | 100%   |

**Effekt auf die Hochwasserspiegel:** Die berechneten Wasserspiegel mit BASEveg sind mit den rein hydraulischen Berechnungen vergleichbar, bei welchen die Rauigkeit der als Vegetation kartierten Flächen erhöht wird. Die Resultate sind somit plausibel. Die Vegetation auf der Sohle bewirkt eine Erhöhung der Wasserspiegel um ca. 10 cm.

## Schlussfolgerung & Ausblick

**Modellgüte:** Trotz der stark vereinfachten Beschreibung der Prozesse in BASEveg konnte die beobachtete Vegetationsentwicklung reproduziert werden und der Effekt auf die Hochwasserspiegel erscheint plausibel. Die Vielzahl der zu wählenden Parameter stellt aber eine Herausforderung dar. Weitere, hier nicht behandelte Einflussgrössen, wären die Wachstumsrate, die optimale Distanz zum Grundwasserspiegel, die Rauigkeit und der Erosionswiderstand der Vegetation sowie der Geschiebetransport, bzw. die Morphologie.

**Erkenntnis:** Der Effekt der Vegetation auf Kiesbänken auf die Hochwasserspiegel ist nicht vernachlässigbar und muss bei der Dimensionierung von Revitalisierungsprojekten berücksichtigt werden.

**Ausblick:** Eine umfangreiche Sensitivitätsanalyse der Parameter sowie die Untersuchung weiterer Gewässer wäre hilfreich, um die Funktionsweise von BASEveg besser zu verstehen und die Simulationsergebnisse besser einordnen zu können.

BASEMENT Anwendertreffen 2020

# Modellierung grosser Geschiebeeinstösse

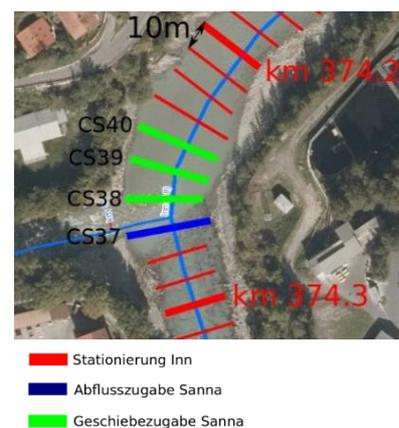
Matthias Bürgler, VAW ETH Zürich

## Ausgangslage

In der Vergangenheit kam es während extremen Hochwasserereignisse in gewissen alpinen Gebirgs- und Talflüssen zu grossen Geschiebeeinstösse durch seitliche Zuflüsse. So wurden beispielsweise während des Hochwasserereignisses vom August 2005 grosse Mengen Geschiebe von der Sanna in den Inn eingetragen. Ein beträchtlicher Anteil wurde im Mündungsbereich der Sanna abgelagert und teilweise weiter transportiert. Gemäss Schätzungen beläuft sich das Eintragsvolumen jedoch auf 250'000 m<sup>3</sup>. Die numerische Modellierung von solchen Geschiebeeinstössen und der damit verbundenen Auflandungs- und Erosionsprozesse sind oft nicht trivial, da bestehende Modelle bei Zugabe von grösseren Geschiebemengen über kurzen Zeitperioden oft an deren Grenzen stossen. Aus diesem Grund wurde mittels einer Machbarkeitsstudie untersucht, ob und wie die aufgrund solcher Geschiebeeinstösse erfolgten morphologischen Prozesse mit BASEMENT nachgebildet werden können.

## Modellaufbau

Für die numerische Modellierung wird das 1D Modell von BASEMENT (Version 2.8) verwendet. Die Gerinnegeometrie wird vereinfacht durch Trapezprofile abgebildet, um allfällige Einflüsse der Diskretisierung der Gerinnegeometrie auf das Modellverhalten ausschliessen zu können. Der Zufluss und der Geschiebeeintrag des Seitenzubringers wurden als laterale Quellen modelliert, wobei mittels vier verschiedener Szenarien untersucht wurde, wie sich die Anordnung der Abfluss- und Geschiebezugabe auf die Stabilität der Simulation und die Sohlenlage nach dem Hochwasserereignis auswirkt (siehe Abbildung 1). Die Korngrössenverteilung des Geschiebeeintrags durch die Sanna ist nicht bekannt. Aus diesem Grund wurden die Simulationen mit vier verschiedenen Korngrössenverteilungen durchgeführt und die Korngrössenverteilung so gewissermassen als Kalibrierungsgrösse verwendet.



**Abbildung 1.** Aufteilung der Abfluss- und Geschiebezugabe auf die Querschnittsprofile.

## Ergebnisse

Die Untersuchungen zeigen, dass die Modellierung von grossen Geschiebeeinträgen grundsätzlich machbar ist, sofern der Geschiebeeintrag über mehrere Querprofile verteilt wird. Die Abflusszugabe sollte jedoch grundsätzlich ein Querprofil vor der Sedimentzugabe und/oder in den ersten ein bis zwei Querprofilen mit Sedimentzugabe erfolgen, um die Impulsübertragung auf das Geschiebe zu modellieren. Somit kann das Auffüllen von Querprofilen mit Geschiebe und daraus resultierende numerische Probleme vermieden werden. Die infolge des Einstosses entstehenden Anlandungen und insbesondere deren Ausdehnungen und Abtrag zwischen 2006 und 2009 wurden durch das Mehrkornmodell gut reproduziert.

TK CONSULT AG, Neugasse 136, CH-8005 Zürich  
 Telefon +41 (0)44 288 81 81, tkc@tkconsult.ch, www.tkconsult.ch

## Umgang mit inneren Randbedingungen in urbanen Gebieten am Beispiel «2D Simulation Schwemmkegel Sihl»

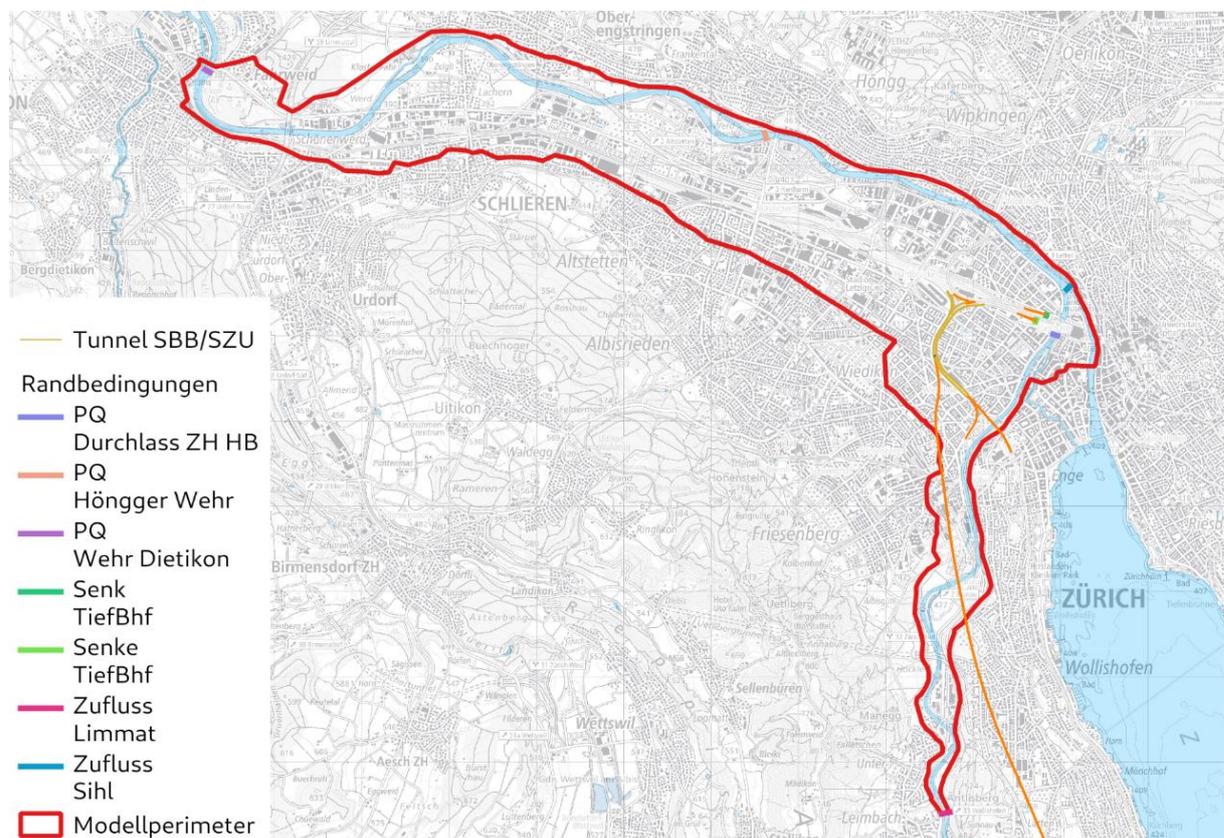
Vortrag am BASEMENT Anwendertreffen, 30.01.2020

Michel Kuhlmann

Der Vortrag umreisst kurz das Projekt "2D Simulation von Hochwasserszenarien auf dem Schwemmkegel der Sihl", das TK CONSULT AG im Auftrag des AWELs und der SBB durchführt. Dabei wurden verschiedene Szenarien modelliert, um den Einfluss von Verklauung, Rückstau der Limmat und die Wirkung des geplanten Entlastungsstollens zu untersuchen.

Der Projektperimeter befindet sich vollständig im urbanen Gebiet, sodass etliche hydraulische Bauwerke im Modell abstrahiert werden müssen. Dies umfasst beispielsweise den Sihldurchlass Hauptbahnhof, Brücken, Wehre oder Eisenbahntunnelsysteme.

Aufgezeigt werden Herausforderungen und Lösungsansätze, wie sie in BASEMENT v3.0 umgesetzt wurden.



## Basement 3.01 Postprozessing der hydraulischen 2D Berechnung

Basement Anwendertreffen am 30.01.2020

Klaus Schmalzl D-Wasserburg am Inn

Anlass:

Mit der Weiterentwicklung von Basement 2.8 auf 3.01 änderte sich sowohl die Ausführungsgeschwindigkeit als auch das Ausgabeformat. Augenblicklich ist eine Überprüfung der Simulationsergebnisse aus der hydraulischen Berechnung nicht so einfach möglich.

Ansatz:

Es werden Hilfsprogramme eingesetzt; die aus den binären Basement 3.01 Eingabe- und Ergebnisdateien (setup.h5, results.h5 und results\_aux.h5) lesbare Ausgabedateien schreiben. Die Hilfsprogramme generieren eine Vielzahl an Ausgabedateien (flächige Darstellung, tabellarische Darstellung), die für die Auswertungen herangezogen werden können.

Zu den wichtigsten Ergebnisdaten zählen unter anderem folgende ASCII-Dateien:

- c\_DEPTH.dat: Berechnete Wassertiefe an jeden Knoten
- c\_WSPL.dat: Berechnete Wasserspiegellage an jeden Knoten
- c\_WSPL\_max.dat: Maximal erreichte Wasserspiegellage an jeden Knoten

Die berechnete Wasserspiegellage c\_WSPL\_max.dat wird jeweils um eine Elementreihe nach außen verlängert, also auf den nächsten trockenen Berechnungsknoten übertragen, um anschließend eine Verschneidung mit der Geländeoberfläche zu berechnen. Das Ergebnis wird als Gis\_Wspl\_max\_Polygon.dxf ausgeschrieben.

Daneben werden weitere Simulationsergebnisse als ASCII-Dateien zum Einlesen als Tabelle oder für die grafische Darstellung erzeugt:

- c\_Q\_Strg.dat: Ermittelte Abflüsse [m<sup>3</sup>/s] an den Kontrollquerschnitten
- c\_W\_Strg.dat: Ermittelte Wasserstände [m] an den Kontrollquerschnitten
- Pegel-Ausgabe.txt: Ermittelte Wasserstände an gesetzten Pegelpunkten

Ferner werden Textdateien zur Punktdarstellung in einem GIS generiert:

- GIS\_Nodes\_C\_Netz.txt Punkte des Berechnungsnetzes
- GIS\_Wsp\_max\_Punkte.txt Punkte der max. Wasserspiegelfläche (Gelände, Wsp. W-tiefe)
- GIS\_Wsp\_max\_Grenze.txt Punkte der Verschneidung des Wsp. mit dem Gelände

Die Hilfsprogramme werden anhand eines Beispiels vorgestellt und anschließend kostenlos zum allgemeinen Gebrauch der ETH Zürich zur Verfügung gestellt.

## KALIBRIERUNG BASEMENT MODELL FÜR EINE ABFLUSSMESSSTATION MIT DER MCMC-METHODE

Abflussmessstationen an Fließgewässern dienen unter anderem der Erhebung von Hoch- und Niederwasserstatistiken sowie von hydrologischen Dauerlinien. Da der Abfluss eines Gewässers nicht direkt gemessen werden kann, wird dieser mittels einer Pegel-Abfluss-(P-Q)-Beziehung hergeleitet. Die P-Q-Beziehungen werden basierend auf Eichmessungen, welche in allen Abflussspektren durchgeführt werden, ermittelt. Hochwasserabflüsse erfordern jedoch eine Extrapolation der P-Q-Beziehung. Diese kann basierend auf einer statistischen Extrapolation oder mittels eines deterministischen hydraulischen Modells hergeleitet werden.

In der betrachteten Fallstudie wird die hydrometrische Abflussmessstation FG\_0340 des Kantons Aargau an der Pfaffnern in Vorderwald betrachtet [1]. Die Extrapolation der P-Q-Beziehung erfolgt durch ein hydrodynamisches 1D-Modell, welches in der Software BASEMENT [1] aufgebaut wurde. Die Kalibrierungsgrößen des Modells sind die Reibungsbeiwerte nach Strickler. Die Reibungsbeiwerte für die Sohle und die Böschungen werden mit einem separaten Skalierungsfaktor für die Sohle  $f_S$  und die Böschung  $f_B$  kalibriert. Dies führt mit einem konventionellen Optimierungsalgorithmus, bei welchem der mittlere quadratische Fehler *RMSE* minimiert wird, zu einem nicht eindeutigen elliptischen Bereich mit einer Korrelation zwischen  $f_S$  und  $f_B$ . Durch den Einsatz der Markov-Chain-Monte-Carlo (MCMC)-Methode als Kalibrierungsverfahren, konnte diese Korrelation gemindert werden. Die MCMC-Methode, bei deren Einsatz das Vorwissen über die Reibungsparameter in die Kalibrierung einfließen kann, basiert auf der bayesschen Inferenz.

Um eine solche Analyse durchzuführen ist eine Vielzahl an Modellauswertungen notwendig. Der Parameterraum wird jedoch nicht systematisch, sondern mit einem zufälligen Lauf (*random walk*) durchschritten. Es gibt verschiedene Algorithmen für das MCMC-Verfahren. Für diese Untersuchung wurde der Algorithmus von Braak [1] angewendet. Dabei wird der Parameterraum durch eine beliebige Anzahl an Ketten mit Wertepaaren  $[f_S, f_B]$  durchschritten. Mit Hilfe eines genetischen Algorithmus wird entschieden, ob ein neuer Punkt angenommen wird oder nicht. Der MCMC-Algorithmus wurde mit der Software RStudio [4] in R [5] implementiert. Für jedes zu berechnende Wertepaar  $[f_S, f_B]$  wird aus R ein BASEMENT-Geometrie-file mit skalierten Reibungsbeiwerten geschrieben. Anschliessend wird BASEMENT über die Konsolenfunktion in R gestartet. Die BASEMENT Resultate werden wiederum in R importiert und ausgewertet.

Die Resultate zeigen eine gute Konvergenz der MCMC-Methode. Durch die resultierenden Verteilungen kann die Bandbreite der extrapolierten Resultate in der P-Q-Beziehung gegenüber dem Einsatz von konventionellen Kalibrierungen auf einen geringeren Bereich eingeschränkt werden. Die Resultate führen zu präziseren Größen in der Hoch- und Niederwasserstatistik und den darauf basierenden Analysen.

Dr. Marius Bühlmann, 15.01.2020

- [1] [https://www.ag.ch/de/bvu/umwelt\\_natur\\_landschaft/hochwasserschutz/hydronet\\_argovia\\_\\_hydrometrische\\_messstationen\\_hydrometrie.jsp](https://www.ag.ch/de/bvu/umwelt_natur_landschaft/hochwasserschutz/hydronet_argovia__hydrometrische_messstationen_hydrometrie.jsp)
- [2] BASEMENT – Basic Simulation Environment for Computation of Environmental Flow and Natural Hazard Simulation. Version 2.7. © ETH Zurich, VAW, 2006-2017.
- [3] Braak, C. J. F. T. (2006). A Markov Chain Monte Carlo version of the genetic algorithm Differential Evolution: easy Bayesian computing for real parameter spaces. *Statistics and Computing*, 16(3): 239–249. <http://dx.doi.org/10.1007/s11222-006-8769-1>.
- [4] RStudio Team (2015). RStudio: Integrated Development for R. RStudio, Inc., Boston, MA URL <http://www.rstudio.com/>.
- [5] R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.