

Optimierung von Regenereignisserien zur Rechenzeitreduzierung von hydrodynamischen Simulationen

Johannes Leimgruber¹⁾, David Steffelbauer¹⁾, Matthias Kaschutnig¹⁾,
Franz Tscheikner-Gratl²⁾, Dirk Muschalla¹⁾

¹⁾ Technische Universität Graz, Institut für Siedlungswasserwirtschaft und
Landschaftswasserbau

²⁾ Universität Innsbruck, Institut für Infrastruktur – Arbeitsbereich für Umwelttechnik

Kurzfassung

Bei Mischwasserkanalsystemen sind oftmals zwei Modelle für ein und dasselbe Entwässerungssystem im Einsatz, nämlich ein hydrodynamisches Modell für den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie ein hydrologisches Modell für den Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen. Eine kombinierte Nachweisführung mit nur einem Modell würde jedoch einige Vorteile mit sich bringen. Da für den hydraulischen Nachweis und die dabei erforderliche Berechnung der Wasserstände an den Knoten (Schächten) nur ein hydrodynamisches Modell herangezogen werden kann, muss auch eine kombinierte Nachweisführung auf solch ein hydrodynamisches Modell zurückgreifen. Um die Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen nachzuweisen, muss unter anderem das Überlaufvolumen aus Mischwasserentlastungen mit einer Regenreihe von zumindest 10 Jahren ermittelt werden. Wird hierzu entsprechend der Idee einer kombinierten Nachweisführung ein hydrodynamisches Modell verwendet, kann dies bei Simulationen mit einem Niederschlagskontinuum zu sehr hohen Berechnungszeiten führen. Alternativ können Regenereignisserien anstelle des Niederschlagskontinuums für die Simulationen herangezogen werden, um die Berechnungszeiten zu reduzieren. Der vorliegende Beitrag stellt ein Verfahren vor, mit welchem solche Regenereignisserien erzeugt und bezüglich der ermittelten Überlaufvolumina und erzielten Berechnungszeiten optimiert werden können.

1 Einleitung

Mischwasserkanalsysteme müssen im Allgemeinen (i) den Nachweis der hydraulischen Leistungsfähigkeit sowie (ii) die Richtlinien für Mischwasserentlastungen erfüllen. Die Bestimmungen hierzu finden sich in verschiedenen länderspezifischen Regelwerken.

Sowohl das DWA-A 118 (DWA, 2006) in Deutschland als auch das ÖWAV-Regelblatt 11 (ÖWAV, 2009) in Österreich führen die „Überstauhäufigkeit“ als Ziel-/Nachweisgröße für den hydraulischen Nachweis an. Ein Überstau ist dabei als Überschreiten eines bestimmten Bezugsniveaus (meist Geländeoberkante bzw. Höhe der Schachtabdeckung) durch den rechnerischen Maximalwasserstand definiert. Zur Bestimmung der Überstauhäufigkeit können nur hydrodynamische Modelle herangezogen werden, da diese durch Lösung der de Saint-Venant-Differentialgleichungen den benötigten Wasserstand für jeden Knoten und für jeden Zeitschritt der Simulation berechnen können.

Zum Führen des hydraulischen Nachweises kommen zwei verschiedene Methoden in Frage:

- Lastfallprinzip (mit Bemessungsregen einer bestimmten Wiederkehrzeit)
- Langzeitsimulationen (mit Niederschlagskontinuum oder Starkregenserien)

Um die Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen nachzuweisen (in Österreich im ÖWAV-Regelblatt 19 (ÖWAV, 2007b) festgelegt), müssen sowohl das Überlaufvolumen aus Mischwasserentlastungen als auch das Oberflächenabflussvolumen zur Ermittlung des Weiterleitungswirkungsgrades bestimmt werden. Hierfür ist eine Langzeitsimulation mit einer Regenreihe von zumindest 10 Jahren durchzuführen. Im Gegensatz zum detaillierten hydrodynamischen Modell für den hydraulischen Nachweis, kommt hierbei aufgrund der geringeren Berechnungszeiten in der Regel ein hydrologisches Modell zur Anwendung.

In der Praxis werden also oftmals zwei Modelle für ein und dasselbe Entwässerungssystem aufgebaut, nämlich ein hydrodynamisches Modell für den hydraulischen Nachweis und ein hydrologisches Modell für den Nachweis der Einhaltung der Richtlinien für Mischwasserentlastungen.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Möglichkeit einer kombinierten Nachweisführung, wobei nur ein hydrodynamisches Modell zum Einsatz kommt. Eine kombinierte Nachweisführung hat den Vorteil, dass nur mehr ein Modell – ein hydrodynamisches Modell – für zwei Nachweisführungen verwendet werden kann. Somit würde eine doppelte Modellerstellung ebenso wie eine doppelte Modellpflege nicht mehr notwendig sein.

Der Fokus der nachfolgenden Betrachtungen liegt auf der Berechnung des Überlaufvolumens aus Mischwasserentlastungsbauwerken. Wird entsprechend der Idee einer kombinierten Nachweisführung ein hydrodynamisches Modell verwendet, kann dies bei Simulationen mit einem Niederschlagskontinuum zu sehr hohen Berechnungszeiten führen. Anstelle des Niederschlagskontinuums kann jedoch auch eine Regenereignisserie herangezogen werden, um die Berechnungszeiten zu reduzieren. Im Nachfolgenden wird eine Vorgehensweise zur Erstellung und Optimierung einer solchen Regenereignisserie vorgestellt.

2 Methodik

Um sinnvolle Berechnungszeiten zu erzielen, wird die Verwendung einer Serie von maßgeblichen Regenereignissen anstelle des Niederschlagskontinuums für die Berechnung des Überlaufvolumens notwendig sein. Die Berechnung mit einer Regenereignisserie muss dabei zu denselben Überlaufvolumina und Überlaufhäufigkeiten führen wie die Berechnung mit dem Niederschlagskontinuum. Zur Generierung einer solchen Regenereignisserie wurde ein Verfahren entwickelt, welches mit vier Eingangsparametern arbeitet:

- Threshold-time [min]
- Threshold-value [mm]
- Event gap [min]
- Time Extension [min]

Zunächst wird die Niederschlagsmenge für einen bestimmten Zeitabschnitt (threshold-time) berechnet. Liegt der erhaltene Wert über einem festgelegten Grenzwert (threshold-value), so wird der entsprechende Zeitabschnitt für die Regenereignisserie berücksichtigt. Der „event gap“ legt die minimale Zeit zwischen zwei Regenereignissen fest und stellt dabei sicher, dass sich zwei aufeinanderfolgende Regene-

reignisse nicht gegenseitig beeinflussen. Dazu sollte der „event gap“ auch die Leerlaufzeit des Entwässerungssystems (speziell bezüglich vorhandener Speicherbecken, Retentionsvolumina etc.) einschließen. Das Ende eines Überlaufereignisses muss nicht unbedingt mit dem Ende eines Regenereignisses übereinstimmen, sondern das Überlaufereignis kann auch darüber hinaus andauern. Die zur Simulation heranzuziehenden Regenereignisse werden daher verlängert (time extension), um auch den Nachlauf nach dem Regenereignis selbst zu simulieren.

Die gebildeten Regenereignisserien werden an einem einfachen Modell getestet. Um die Auswirkungen von unterschiedlichen Parametereinstellungen zu untersuchen, werden die Ergebnisse der einzelnen Regenereignisse zusammengeführt (in diesem Fall: Summe der entsprechenden Überlaufvolumina) und mit dem Ergebnis der Simulation mit Niederschlagskontinuum (Referenzfall) verglichen.

Für eine erste Einschätzung des Modellverhaltens aufgrund unterschiedlicher Parametereinstellungen wird eine globale Sensitivitätsanalyse mit Hilfe des „Morris Screenings“ (Campolongo et al., 2007) durchgeführt.

Um mögliche Rechenzeiteinsparungen zu analysieren, werden folgende Schritte betrachtet:

- Schritt 0: Hydrodynamische Simulation mit Niederschlagskontinuum (Referenzfall)
- Schritt 1: Ausschluss von „realen“ Trockenperioden („skip steady state periods“)
- Schritt 2: Ausschluss von „fiktiven“ Trockenperioden (Nutzung der Regenereignisserien)
- Schritt 3: Optimierung der Parameter von Schritt 2 unter Berücksichtigung der folgenden zwei Ziele:
 - Minimierung der Rechenzeit (anstelle der Rechenzeit selbst wird die Zeitsumme der gebildeten Regenereignisse verwendet, um unabhängig von CPU-Leistung und möglicherweise auftretenden Hintergrundprozessen während den Simulationen zu sein. Je kleiner die Ereignis-Zeitsumme ist, desto geringer wird auch die Berechnungszeit für die Regenereignisserie sein)

- Beibehalten des gesamten Überlaufvolumens aus dem Referenzfall
- Schritt 4: Parallelisierung der Ereignissimulationen – wird eine Regenereignisserie anstelle des Niederschlagskontinuums verwendet, ergibt sich der große Vorteil, dass die Simulationen der einzelnen Ereignisse parallelisiert auf einem Mehrkernprozessor bzw. parallel auf mehreren Rechnern ablaufen können. Dies führt zu weiteren deutlichen Reduktionen der Rechenzeit.

Schritt 3 stellt hierbei den zentralen Aspekt des vorliegenden Beitrages dar. Die Optimierung der Parameter erfolgt mit Hilfe von multi-kriteriellen genetischen Algorithmen. Abb. 1 zeigt den prinzipiellen Ablauf des Optimierungsverfahrens.

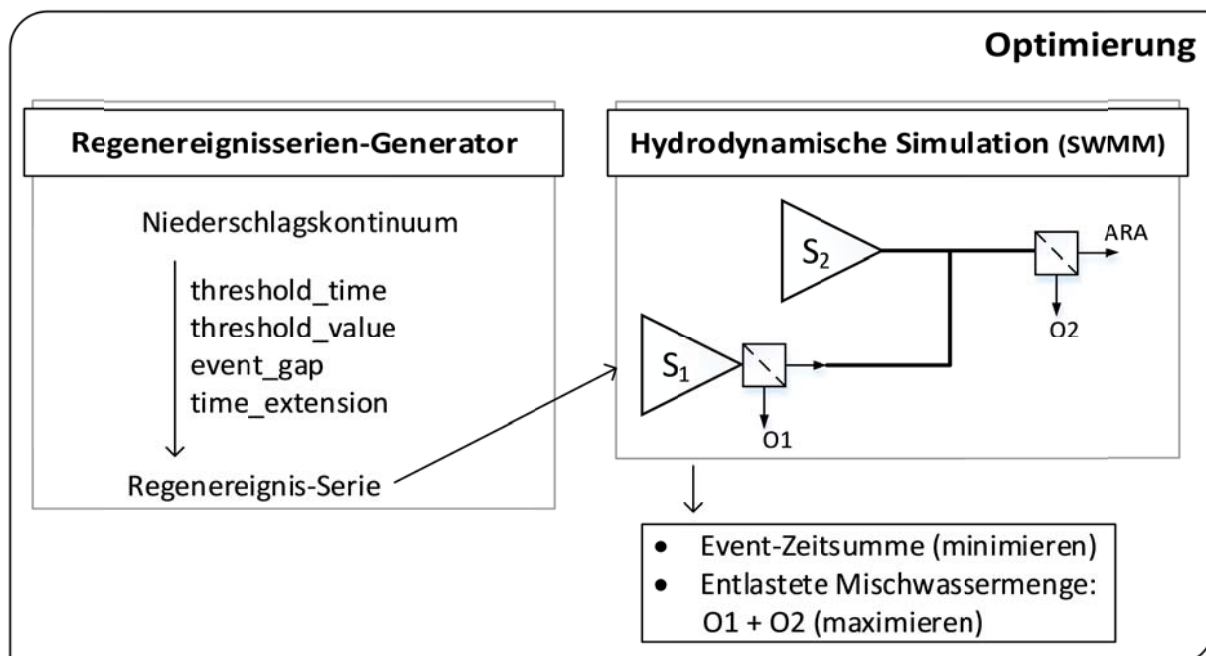


Abb. 1: Ablauf des Optimierungsverfahrens

Das Optimierungsverfahren wird an fünf virtuellen Fallbeispielen mit unterschiedlichen Systemeigenschaften, welche mit dem von (Möderl et al., 2009) beschriebenen Fallbeispiel-Generator erzeugt wurden, angewandt. Zusätzlich werden die Optimierungsläufe mit zwei unterschiedlichen Niederschlagszeitreihen mit einer Länge von 3 und 5 Jahren (bereitgestellt von (OEWAV, 2007a)) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Abb. 2 zeigt ein Ergebnis der beschriebenen Methode zur Erzeugung von Regenereignisseries. Die grün-gefärbte Regenereignisserie wurde aus dem blau-gefärbten Niederschlagskontinuum von 1992 (gemessen in Graz) und den nachfolgenden Parametern gebildet: threshold-time=400 min, threshold-value=15 mm, event gap=720min.

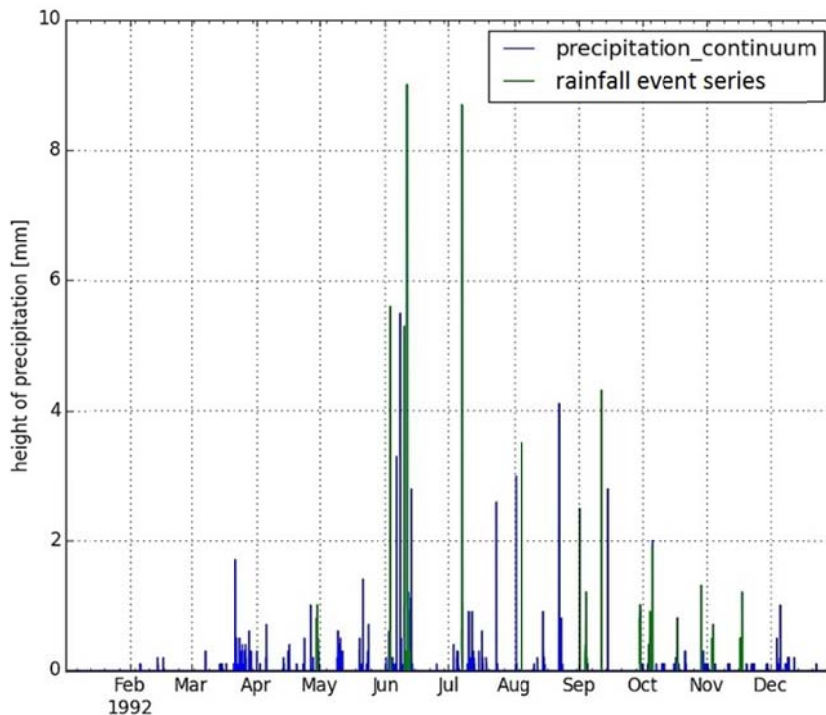


Abb. 2: Niederschlagskontinuum und Regenereignisserie

Abb. 3 zeigt ein erstes Resultat der globalen Sensitivitätsanalyse des gesamten Überlaufvolumens als Funktion der vier Eingangsparameter. Es zeigt sich, dass alle Parameter sensitiv (basierend auf μ^*) sind und es lässt sich auf eine Nicht-Linearität und/oder Interaktion mit anderen Parametern (basierend auf σ) schließen.

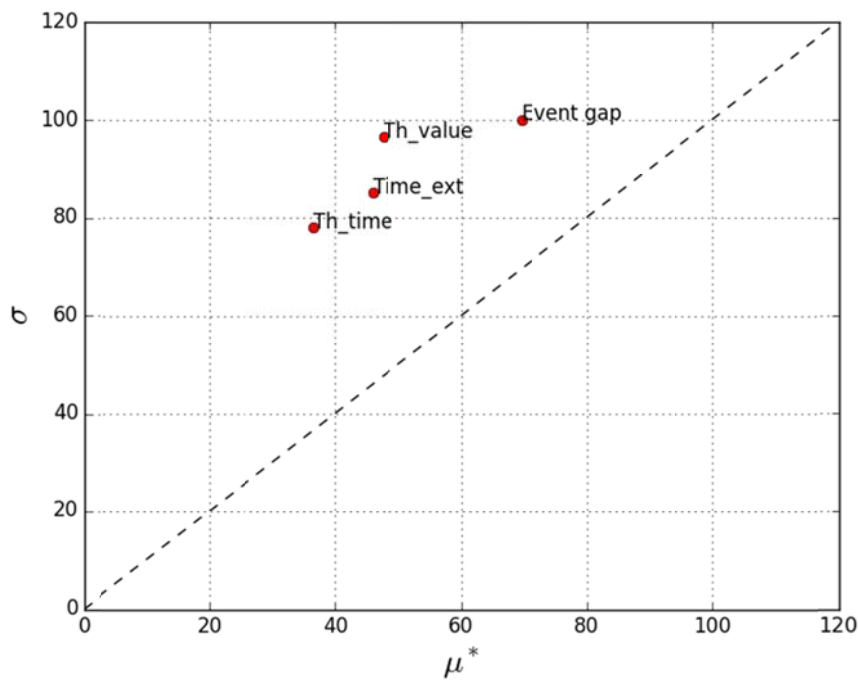


Abb. 3: Ergebnis des Morris Screenings für gesamtes Überlaufvolumen

Ein beispielhaftes Ergebnis des Optimierungsverfahrens ist in Abb. 4 dargestellt. Die optimalen Ergebnisse liegen im rechten unteren Eck der Punktwolke, da hier das maximale Überlaufvolumen (selber Wert wie im Referenzfall) bei minimalen Ereignis-Zeitsummen der Regenereignisserien erreicht wird. In diesem Fall wurde eine Niederschlagszeitreihe von 5 Jahren (1825 Tagen) verwendet. Wie aus der Abbildung hervorgeht, reicht die Simulation von 427 Tagen (Ereignis-Zeitsumme) aus, um dasselbe Überlaufvolumen wie bei der Simulation mit dem Niederschlagskontinuum zu erhalten. Wird ein minimaler Grad an Ungenauigkeit im Resultat des Überlaufvolumens akzeptiert, sind weitere deutliche Reduktionen der Ereignis-Zeitsumme möglich. Im hier dargestellten Fall (Abb. 4), ergab die Reduktion des Überlaufvolumens von 1% eine Reduktion der Ereignis-Zeitsumme von 74%. Das bedeutet, dass eine in ihrer zeitlichen Länge um 74% reduzierte Regenereignisserie ein Überlaufvolumen ergibt, welches nur um 1% reduziert wird (jeweils im Vergleich mit der Regenereignisserie, welche zum maximalen Überlaufvolumen führt).

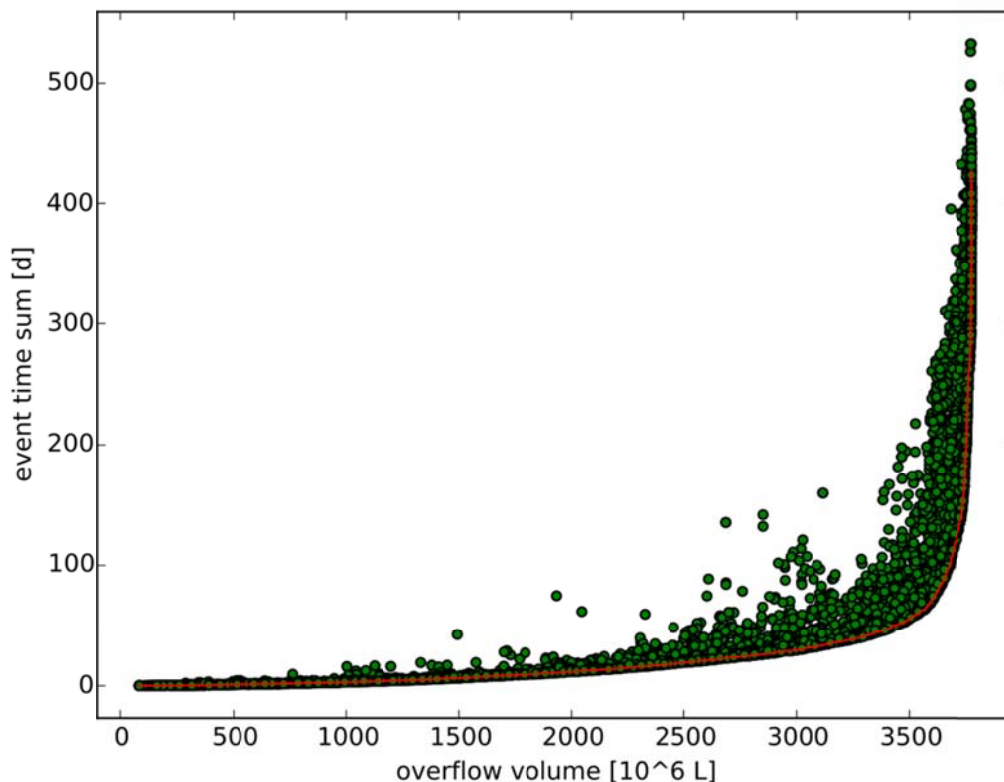


Abb. 4: Resultat des Optimierungsverfahrens

Wird eine erhaltene „optimale“ Regenereignisserie für die Simulationen der fünf virtuellen Fallbeispiele verwendet, so ergeben sich Beschleunigungen in der Berechnungszeit von 4 bis 9 Mal im Vergleich zur Simulation mit dem Niederschlagskontinuum. Eine Parallelisierung der Ereignissimulationen (mit einer acht-fach hyperthreaded quad core CPU) kann für weitere Reduktionen der Berechnungszeiten eingesetzt werden. Hierbei ergeben sich Beschleunigungen von etwa 18 bis 40 Mal.

4 Ausblick

In den folgenden Schritten wird das Optimierungsverfahren sowohl an einer größeren Anzahl von Niederschlagszeitreihen als auch an mehreren verschiedenen Modellen angewendet. Zusätzlich wird das Verfahren derzeit an realen Fallbeispielen getestet. Bei der Auswertung der entsprechenden Ergebnisse wird das Ziel verfolgt, allgemein anwendbare Parametereinstellungen zu finden oder Hinweise zur Auswahl dieser in Abhängigkeit des konkreten Fallbeispiels zu geben.

Danksagung

Der vorliegende Beitrag ist ein Resultat des Projekts DATMOD, finanziell unterstützt durch das Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (BMLFUW).

Literatur

- Campolongo, F., Cariboni, J., and Saltelli, A. (2007) An effective screening design for sensitivity analysis of large models. *Environmental Modelling & Software*, **22**, 1509–1518.
- DWA (2006) *Arbeitsblatt DWA-A 118 - Hydraulische Bemessung und Nachweis von Entwässerungssystemen*, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., Hennef, Germany.
- Möderl, M., Butler, D., and Rauch, W. (2009) A stochastic approach for automatic generation of urban drainage systems. *Water Science & Technology*, **59**(6), 1137.
- OEWAV (2007a) *ÖWAV - Leitfaden - Niederschlagsdaten zur Anwendung der ÖWAV-Regelblätter 11 und 19*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2009) *ÖWAV - Regelblatt 11 - Richtlinien für die abwassertechnische Berechnung und Dimensionierung von Abwasserkanälen*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.
- OEWAV (2007b) *ÖWAV - Regelblatt 19 - Richtlinien für die Bemessung von Mischwasserentlastungen*, Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Vienna, Austria.

Anschrift der Verfasser:

DDipl.-Ing. Johannes Leimgruber, BSc
Dipl.-Ing. David Steffelbauer, BSc
Matthias Kaschutnig, BSc
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dirk Muschalla
Technische Universität Graz, Institut für
Siedlungswasserwirtschaft und Landschaftswasserbau
Stremayrgasse 10/I
8010 Graz
leimgruber@tugraz.at
david.steffelbauer@tugraz.at
m.kaschutnig@tugraz.at
d.muschalla@tugraz.at

Dipl.-Ing. Franz Tscheikner-Gratl
Universität Innsbruck
Arbeitsbereich Umwelttechnik
Technikerstraße 13
6020 Innsbruck
franz.tscheikner-gratl@uibk.ac.at