
Aus den Fachgebieten:

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (Leitung: Prof. Schmalz)



Promotionen

Für das Fachgebiet ihwb sind Promotionsvorhaben von Amrei David, Michael Kissel, Inés Lacayo, Angela Rebscher und Dominik Scholand in Bearbeitung. Ergebnisse dazu werden in den kommenden WasserJahren vorgestellt.

Lehre

Abschlussarbeiten

Im Rahmen der Lehre betreut das Fachgebiet ihwb Bachelor- und Masterarbeiten. Im Folgenden werden die von November 2017 bis Oktober 2018 abgeschlossenen Arbeiten aufgelistet.

Bachelorarbeiten

Bis Oktober 2018 wurden vier Bachelorarbeiten abgeschlossen:

- Hydrologisch-hydraulische Berechnung des Starkregenereignisses am 23.04.2018 anhand zweier Modellansätze im Fischbach-Einzugsgebiet
- Flächenhafte GIS-basierte Analyse der Sturzflutgefährdung im Gersprenz-Einzugsgebiet
- Untersuchung geeigneter Probenahmetechniken zur Bestimmung kritischer Bodenerosionsparameter mit einem JET Erosion Test
- Modell- und Methodenvergleich zur ereignisbasierten Erosionsmodellierung

Masterarbeiten

Bis Ende Oktober 2018 wurden vier Masterarbeiten abgegeben:

- Analyse von Niederschlagsdaten aus der Satellitenfernerkundung in der hydrologischen Modellierung am Beispiel des Fischbachtals
- Auswirkung der Aufbereitung und Verwendung verschiedener Niederschlagseingangsdaten auf die Ergebnisse in der Starkregenmodellierung
- Entwicklung eines alternativen Ansatzes zur Bewertung von Hochwasserrisiken in kleinen Einzugsgebieten
- Analyse von Schwebstoffen im Fließgewässer

Ein Teil der Arbeiten wurden in Kooperation mit folgenden Partnerinstitutionen angefertigt:

- geomer GmbH, Heidelberg
- Universität Twente

Veranstaltungen

Internationale hydrologische Konferenz ERB2018

Das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) hat im September 2018 eine dreitägige hydrologische Konferenz an der TU Darmstadt veranstaltet.

Vom 12.-14. September 2018 wurde die 17. Internationale ERB-Konferenz vom ihwb an der TU Darmstadt ausgerichtet. Das ERB (Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins) ist ein Zusammenschluss von 22 Europäischen Ländern, in denen hydrologische Einzugsgebiete mit beständiger Datenaufnahme zu Forschungszwecken betrieben werden. Co-organisiert wurde die Konferenz vom internationalen ERB-Lenkungsausschuss und dem Internationalen Zentrum für Wasserressourcen und Globalen Wandel (ICWRGC). Finanzielle Unterstützung gab es von der Deutschen Hydrologischen Gesellschaft (DHG) sowie vom ICWRGC.

ERB-Lenkungsausschuss

Bereits am Vortag, dem 11. September 2018, ist der internationale ERB-Lenkungsausschuss zu seiner jährlichen Sitzung zusammengekommen. Dazu entsenden die 22 Europäischen Länder je einen nationalen Vertreter, für Deutschland ist das Prof. Schmalz (<http://erb-network.simdif.com/>). Dieses Jahr kamen Vertreter und Vertreterinnen aus 10 Ländern zusammen. Den Vorsitz hatte der portugiesische Kollege Prof. de Lima, der derzeit der internationale ERB-Koordinator ist. Es gab einen Rückblick auf die Aktivitäten des vergangenen Jahres, letzte Abstimmungen für die ERB2018-Konferenz sowie die Planung der kommenden Sitzungen des Lenkungsausschusses und ERB-Konferenzen.

ERB2018-Konferenz

70 Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen aus 19 Ländern haben zum diesjährigen Thema „Innovative monitoring techniques and modelling approaches for analysing hydrological processes in small basins“ vorgetragen und diskutiert. Der Fokus lag also auf Methoden und Ergebnissen aus Feld-/Labormessungen und Modellierungen in kleinen hydrologischen Einzugsgebieten. Dazu gab es 30 Vorträge und 30 Posterpräsentationen zu folgenden Themenblöcken:

- Neue Monitoringtechniken zur Analyse hydrologischer und biogeochemischer Prozesse
- Neue Monitoringtechniken zur Analyse von Wasserhaushaltskomponenten
- Bewertung von Wasserhaushaltskomponenten
- Messung von Erosion und den damit verbundenen Transportprozessen
- Neue Modellierungsansätze zur Analyse von (öko-)hydrologischen Prozessen und Extremereignissen
- Anpassung der Wasserwirtschaft an den Klimawandel

Der erste Konferenztag begann mit einer Eröffnungszereemonie, in der Prof. Schmalz, Prof. de Lima und Dr. Dietrich (ICWRGC) die Teilnehmenden begrüßten. Es folgten vier Sessions mit Fachvorträgen, eine Postersession, Kaffeepausen im Foyer vor dem Hörsaal, Mittagspause in der Mensa sowie ein Konferenz-Dinner in einem Darmstädter Restaurant.

Am zweiten Tag gab es ebenfalls vier Sessions mit Fachvorträgen, eine weitere Postersession, Kaffee- und Mittagspause. In der ERB-Hauptversammlung wurde durch Prof. de Lima von den Ergebnissen der Sitzung des ERB-Lenkungsausschusses berichtet. Zudem wurden zwei Posterpreise vergeben, die mittels einer Abstimmung der Konferenzteilnehmenden ausgewählt wurden. Sowohl der Preis für die "Innovativste Studie" als auch für die "Beste Bezugnahme auf das Konferenzthema" ging an Rick S. Assendelft, Ilja van Meerveld und Jan Seibert von der Universität Zürich mit einem Poster zum Thema "Spatiotemporal variation in the flowing stream network in a mountainous headwater catchment".

Zum Abschluss dankten Prof. Schmalz und Prof. de Lima den Teilnehmern für die Beteiligung und die interessanten Beiträge und Diskussionen.



Abbildung 38: Posterpreisverleihung (links) und Postersession (rechts) (Fotos: G. Romano 09/2018)

Exkursion zur ERB2018-Konferenz

Eine Fachexkursion am dritten Tag bot weitere Möglichkeiten für fachlichen Austausch und für eine Vernetzung zwischen den etwa 40 Teilnehmenden. Es wurden fünf Stationen innerhalb des Gersprenz-Einzugsgebietes besucht. Als erstes ging es ins Fischbach-Teileinzugsgebiet, um den Retentionsraum Herrensee und den Pegel Groß-Bieberau 2 einschließlich der ihwb-Messtationen, die Teil des ihwb-Feldlabors „Gersprenz-Einzugsgebiet“ sind, zu besichtigen. Es wurden Messmethoden vorgestellt und diskutiert und mit den Erkenntnissen anderer Gebiete verglichen. Weiter wurden ein Mühlenstandort (Moersmühle) und eine Fischtreppe in Dieburg an der Gersprenz besichtigt. Zuletzt ging es an den Reinheimer Teich, einem Naturschutzgebiet nordöstlich von Reinheim. Eine Führung durch Herrn F. Fornoff gab einen umfassenden Einblick in die wechselhafte wasserwirtschaftliche Nutzung des Gebietes in der Vergangenheit und die mittlerweile durchgeführten Naturschutzmaßnahmen und Aktivitäten.

Auf der Exkursion konnten sich die Teilnehmenden ein Bild über die Landschaftscharakteristiken und die Monitoringsstrategie im ihwb-Feldlabor „Gersprenz-Einzugsgebiet“ machen. Messwerte und -methoden wurden diskutiert und Ideen für mögliche Kooperationen entwickelt. So konnte das ihwb sein Studiengebiet international als Standort für künftige starke Experiment- und Modellierungskompetenz bekannt machen.



Abbildung 39: Exkursion im Fischbach-Einzugsgebiet (Foto: B. Schmalz 09/2018)

Forschung

Hydrologisches Feldlabor Gersprenz-Einzugsgebiet

Rückblick

Wie bereits in den Wasserjahren 2016 und 2017 berichtet, wurde das Gersprenz-Einzugsgebiet mit dem Teileinzugsgebiet des Fischbaches als hydrologisches Untersuchungsgebiet – als sogenanntes Feldlabor – für das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) ausgewählt.

Das Ziel für den Betrieb eines Feldlabors ist das Verständnis der hydrologischen Prozesse, das Testen, Anwenden und Entwickeln von hydrologischen Modellen sowie die Abbildung des Einflusses von Klima- und Landnutzungswandel, Landmanagement und Wasserbewirtschaftung auf die Hydrologie. Die Auswahl des Gersprenz-Einzugsgebietes mit einer Größe von ca. 500 km² und seinem Teileinzugsgebiet des Fischbaches von 35,6 km² ermöglicht die Berücksichtigung von Prozessen auf unterschiedlichen Skalen. Das ihwb kooperiert dazu schon jetzt mit den Behörden der Umweltverwaltung wie HLNUG, RP Darmstadt und dem Wasserverband Gersprenzgebiet sowie einzelnen Akteuren und Anwohnern vor Ort.

Messungen, Analysen und Modellierung

In dem ausgewählten Studiengebiet werden durch das ihwb seit dem Jahr 2016 Messdaten erhoben, welche die bereits vorhandenen Landesdaten und Literaturwerte ergänzen. Auch weiterhin setzt das ihwb-Messkonzept auf eine zweigeteilte Strategie, die sowohl ein kontinuierliches Monitoring als auch zeitlich weniger hoch aufgelöste Kampagnen einschließt.

Kontinuierliche Messungen werden an wichtigen Standorten des Einzugsgebietes durchgeführt. So hat das ihwb an den Gersprenz-Pegeln Wersau (seit 07/2017) und Harreshausen Sonden installiert, mit deren Hilfe Wasserstand, Wassertemperatur und elektrische Leitfähigkeit erfasst werden. Durch den Neubau des Landespegels Harreshausen sowie Umbauten und Reparaturen des ihwb-Sensors haben die ihwb-Messungen einen Großteil des Jahres 2018 geruht. Die gleichen Parameter werden durch einen weiteren Sensor am Pegel Groß-Bieberau 2 im Fischbach erfasst (seit 06/2017). Im Juni 2018 wurden zwei zusätzliche Sonden im Rodauer Bach und im Fischbach kurz vor ihrem Zusammenfluss installiert, um künftig eine weitere räumliche Differenzierung zu ermöglichen (Abbildung 40).

Um räumlich höher aufgelöste Informationen zu erhalten, wird die seit dem Jahr 2016 wöchentlich stattfindende Messkampagne fortgeführt, die an derzeit 12 Probenahmepunkten im Fischbach Daten erfasst (Abbildung 40). Dabei werden Wassertiefe und Fließgeschwindigkeit (seit 10/2016), elektrische Leitfähigkeit und Trübung (seit 02/2017) gemessen. Diese Datenreihen werden für die Analyse der räumlichen und zeitlichen Variabilität des Fließgewässers genutzt. So wurden beispielsweise Messwerte zu Abfluss und elektrischer Leitfähigkeit ausgewertet und der Einfluss der aktuellen Landnutzung auf die Gewässerqualität analysiert. Zudem können durch die wöchentlichen Einzelmessungen die kontinuierlich aufgenommenen Messwerte plausibilisiert und Pegelschlüsselkurven erstellt werden.

Im Rahmen von Promotionsvorhaben sowie von Abschlussarbeiten der Bau- und Umweltingenieurstudiengänge wurden weitere Daten im Studiengebiet erhoben und ausgewertet (vergleiche folgende Beiträge). So lag ein Schwerpunkt auf dem Themenbereich Niederschlag und hydrologisch-hydraulische Modellierung im Fischbach-Einzugsgebiet. In einer Thesis wurde das am 23.04.2018 aufgetretene Starkregenereignis anhand zweier Modellansätze analysiert, während sich eine andere Studie mit der flächenhaften GIS-basierten Analyse der Sturzfluggefährdung beschäftigte. Die Aufbereitung und Verwendung verschiedener Niederschlagseingangsdaten, u.a. aus Stationsdaten, aus Satellitenfernerkundung sowie aus Radardaten, wurden in ihrer Auswirkung auf die Ergebnisse in den unterschiedlichen hydrologischen Modellen, auch in Bezug auf die Starkregenmodellierung und die Bewertung von

Hochwassergefahren, untersucht. Unter Nutzung dieser Erkenntnisse beschäftigt sich ein Promotionsvorhaben mit der Entwicklung einer geeigneten Methode, um Überflutungen in Folge von Starkregenereignissen durch hydrologische und hydraulische Modellierung bei der Hochwassersituation im Einzugsgebiet zu berücksichtigen.



Abbildung 40: 12 ihwb-Probenahmepunkte im Fischbach-Einzugsgebiet (links); Messungen am Pegel Groß-Bieberau 2 (oben; Fotos: G. Romano 06/2018)

Ein anderer Schwerpunkt lag auf der Betrachtung von Bodenparametern, Bodenabtrag, Erosion und Sedimenttransport. Zum einen wurden die Schwebstoffe im Fließgewässer analysiert. Die experimentellen Geländearbeiten umfassten dabei die Abflussmessung und das Sedimentmonitoring zur Ermittlung der abflussspezifischen Sedimentfrachten. Durch hydrologische Modellierung werden sowohl die flächenhafte Erosion als auch die Sedimentfracht im Gerinne abgebildet. Zum anderen wurden Bodenerosionsprozesse und Abtragsprognosen auf geneigten landwirtschaftlichen Flächen analysiert. Durch Felddaufnahmen zur Analyse von Bodenparametern und in Hallenexperimenten zur Bestimmung der kritischen Scherspannung von Feldproben wurde die räumliche und zeitliche Variabilität von erosionsrelevanten Bodeneigenschaften untersucht. Dazu wurden auch Versuche zu geeigneten Mess- und Probenahmetechniken durchgeführt. Zusammen mit Modell- und Methodenvergleichen zur Erosionsmodellierung wird so eine Grundlage für prozessorientierte Modellierungsansätze geschaffen.

Einsatz in Forschung und Lehre

Die oben bereits genannten Aktivitäten im Rahmen von Messkampagnen, Monitoring, Promotions- und Abschlussarbeiten mündeten in zahlreichen Präsentationen auf wissenschaftlichen Veranstaltungen. So hat das ihwb-Team Vorträge und Poster auf dem DAWAKO 2018 in Darmstadt, auf dem Tag der Hydrologie 2018 in Dresden, auf der EGU 2018 in Wien, auf der ERB2018-Konferenz in Darmstadt und auf dem Symposium on "Integrated Disaster Risk Management under Multiple Climatic and Socioeconomical Scenarios" in Nanjing, China präsentiert.

Auch mehrere Exkursionen ins Fischbach- bzw. Gersprenz-Gebiet wurden organisiert. Eine Exkursion wurde beispielsweise im Rahmen der internationalen hydrologischen Konferenz ERB2018 (09/2018) durchgeführt. Aber auch im Rahmen der Lehre, im Modul Ingenieurhydrologie III, fand im Juni 2018 eine Exkursion an den Pegel Groß-Bieberau 2 statt, um den Studierenden das Einzugsgebiet und die Messtechniken zu erklären (Abbildung 41).



Abbildung 41: Exkursion an den Pegel Groß-Bieberau 2 im Rahmen der Lehrveranstaltung Ingenieurhydrologie III (Foto: G. Romano 06/2018)

Hydrologisch-hydraulische Berechnung des Starkregenereignisses am 23.04.2018 anhand zweier Modellansätze im Fischbach-Einzugsgebiet

Angelika Madloch

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

B.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung



Unter Starkregen versteht man kurze, lokale Ereignisse, die eine hohe Niederschlagsintensität aufweisen. Gerade kleine Einzugsgebiete sind der Gefahr von Hochwasser durch Starkregen besonders ausgesetzt, da kleinere Fließquerschnitte große, in kurzer Zeit gefallene Wassermengen meist nicht ausuferungsfrei ableiten können. Die kurzen Reaktionszeiten kleinerer Einzugsgebiete geben außerdem kaum die Möglichkeit, eine Vorwarnung an die angrenzende Bevölkerung aussprechen zu können. Die Simulation von Starkregenereignissen ist deshalb ein wichtiges Mittel, um Auswirkungen und Risiken abschätzen zu können und daraufhin Hochwasserschutzmaßnahmen zu treffen.

Ziel der Thesis war es, das Starkregenereignis am 23.04.2018 im Fischbach-Einzugsgebiet anhand zwei verschiedener Modelle nachzurechnen und zu simulieren. Hierzu wurde das hydrologische Modell HEC-HMS sowie das hydraulische Modell FloodArea herangezogen.

Im Fokus der Modellierung stand außerdem das im Jahre 2017 in Betrieb genommene Hochwasserrückhaltebecken „Herrensee“. Es handelt sich hierbei um einen ungesteuerten Retentionsraum zwischen den Orten Billings und Niedernhausen. Im Falle eines Hochwassers erfolgt eine Drosselung des Abflusses.

Mit beiden Modellansätzen konnte der Einfluss des Hochwasserrückhaltebeckens berechnet und abgebildet werden. Außerdem wurde erläutert, welche Möglichkeiten die Modelle bieten, das Hochwasserrückhaltebecken zu implementieren. Neben Auswertung und Vergleich der Modellierungsergebnisse wurde die Nutzung von verschiedenen Rohdaten gegenübergestellt und bezüglich ihrer Eignung bewertet.

Mit dem hydraulischen Modell FloodArea konnte das Starkregenereignis in Form von Überschwemmungskarten dargestellt werden. Auf Abbildung 42 ist ein Kartenausschnitt mit berechneten Überschwemmungen in Groß-Bieberau zu sehen. Diese Simulation stimmt mit den von der örtlichen Feuerwehr dokumentierten Überschwemmungen nach dem Starkregenereignis überein.

Die Simulation extremer Niederschlagsereignisse durch hydrologische oder hydraulische Modelle ist also sehr hilfreich, um Konsequenzen und mögliche Gefahren ermitteln zu können.

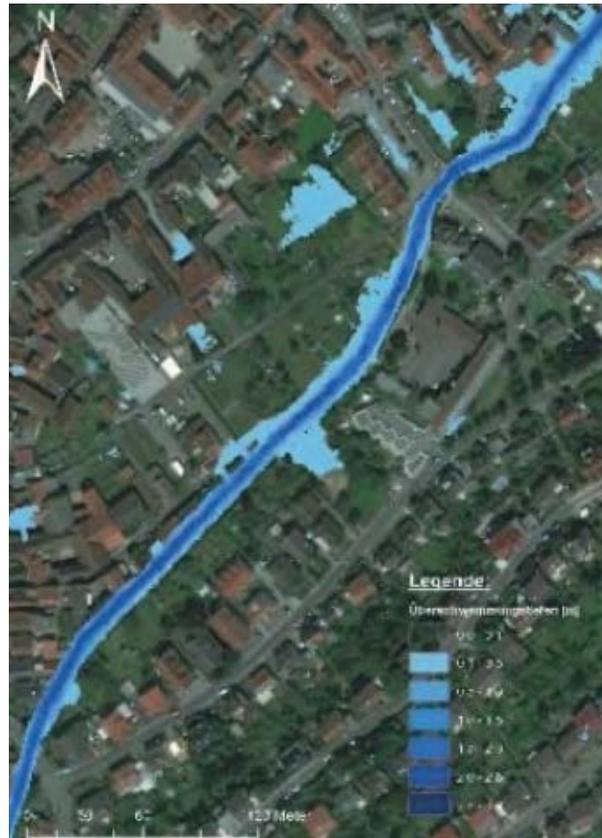


Abbildung 42: FloodArea Überschwemmungskarte

Flächenhafte GIS-basierte Analyse der Sturzflutgefährdung im Gersprenz-Einzugsgebiet

Gerrit Kleiber

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

B.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Hochwasser durch Starkregenereignisse, in kleinen Einzugsgebieten als Sturzflut, unabhängig vom Gewässerlauf als pluviales Hochwasser bezeichnet, kann fast überall auftreten. Anders als fluviales Hochwasser ist es nicht unbedingt an ein vorhandenes Gerinne gebunden, sondern an ein Starkregenereignis mit entsprechender Intensität (oftmals Jährlichkeiten > 100 a). Laut DWD ist mit einer Zunahme von Starkregenereignissen durch den voranschreitenden Klimawandel zu rechnen. Diese Rahmenbedingungen zeigen, dass eine verlässliche Methode der Sturzflutgefährdungsanalyse notwendig ist, damit die öffentliche Daseinsvorsorge entsprechende Maßnahmen zum Schutz vor Sturzfluten ergreifen kann. Innerhalb dieser Arbeit wurden zwei Methoden der flächenhaften Sturzflutgefährdungsanalyse am Gersprenz-Einzugsgebiet angewandt, bewertet und verglichen: Die topographische Sturzflutgefährdungsanalyse nach DWA-Merkblatt 119 und der Flash Flood Potential Index (FFPI). Beide Varianten sind belastungsunabhängig und dienen zunächst der Vorauswahl besonders gefährdeter Gebiete, an denen daraufhin zusätzlich genauere Analysemethoden angewandt werden können.



Die topographische Sturzflutgefährdungsanalyse nach DWA-M-119 legt ihren Fokus auf die Identifikation von Fließwegen und Geländesenken, welche durch Aufarbeitung des digitalen Geländemodells erkennbar gemacht werden. Fließwege werden hierbei nach Einzugsgebiet und Senken nach Quotient aus Volumen bei Vollfüllung und Einzugsgebietsgröße in Gefahrenklassen eingeordnet (Abbildung 43).

Der FFPI ermittelt die Sturzflutgefährdung anhand von vier primären Bewertungskriterien, welche zunächst unabhängig voneinander ermittelt werden: Geländeneigung, Bodenart, Landnutzung und Vegetation. Diese Bewertungen werden zum FFPI zusammengefasst, der die Sturzflutgefährdung innerhalb einer dimensionslosen Skala von 0-10 anzeigt, wobei ein Wert von 10 der maximalen Gefährdung entspricht (Abbildung 44).

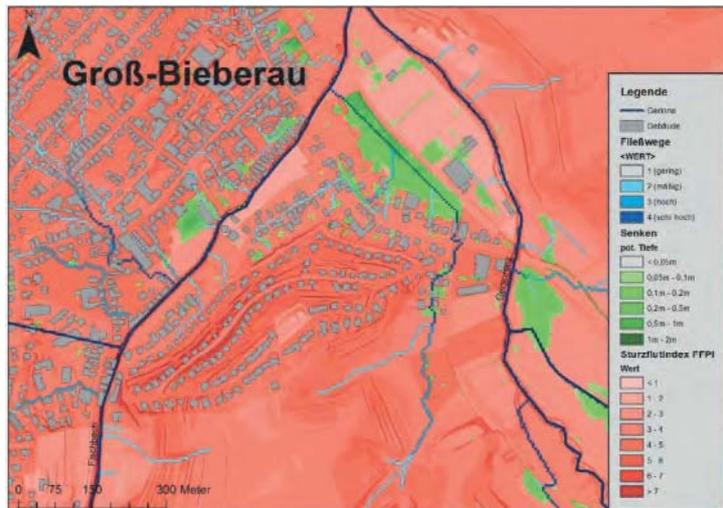


Abbildung 43: Sturzflutgefährdungsanalyse in Groß-Bieberau

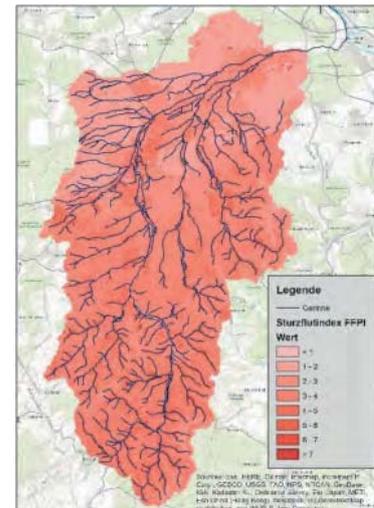


Abbildung 44: FFPI des Gersprenz-Einzugsgebietes

Fließwege treten im gesamten Gebiet gleichmäßig auf, während Senken verstärkt in den Niederungen anzutreffen sind. Der FFPI des Gebiets bewegt sich in einem Wertebereich von 0,7 bis 8. Es kommt zu keinen Maximalwerten von 10. Die Ergebnisse zeigen, dass der FFPI Flächen als gefährdet ausweist, die in Realität wenig gefährdete Gebiet sind. Das liegt daran, dass der FFPI in der angewendeten Form nicht die Größe des Einzugsgebietes mitberücksichtigt und nur eine, in dieser Arbeit jedoch nicht durchgeführte, Modifizierung des FFPI aussagekräftigere Ergebnisse liefern kann. Die topographische Sturzflutgefährdungsanalyse nach DWA-M-119 bietet durch die kombinierte Betrachtung aus Fließwegen mit der Berücksichtigung der Größe des Einzugsgebietes und der Senken eine gute Grundlage zur flächenhaften Gefahrenanalyse.

Analyse von Niederschlagsdaten aus der Satellitenfernerkundung in der hydrologischen Modellierung am Beispiel des Fischbach-Einzugsgebietes



Anna Bach

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Motiviert durch das Potential der Satellitenfernerkundung, flächendeckende Beobachtungen und Sammlung von Klimaparametern in einer regelmäßigen zeitlichen und hohen räumlichen Auflösung mit verhältnismäßig geringem Aufwand^[1] zu ermöglichen, wurde in dieser Arbeit die Eignung von Fernerkundungsdaten in Form von Satellitenbildern als Alternative zu Niederschlagsdaten von Bodenmessstationen für die hydrologische Modellierung am konkreten Fallbeispiel des Fischbach-Einzugsgebietes (Abbildung 45) untersucht.

Für die vergleichende Analyse wurden die Niederschlagsdaten beider Quellen (Bodenmessstationen und Satellitenbilder) mit Hilfe gängiger statistischer Methoden und deren Anwendung in einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung (kurz N-A-Modellierung) analysiert. Dabei galt es auch die Auswirkungen der unterschiedlichen Datengrundlage auf die Parametrisierung des N-A-Modells zu untersuchen. Die N-A-Modellierung und die anschließende multikriterielle Optimierung erfolgten mit den Programmen BlueM.Sim und BlueM.Opt. Für den Bezug von Satellitenbildern wurde ein von Mykytenko implementiertes Arc Gis Plug-In verwendet.

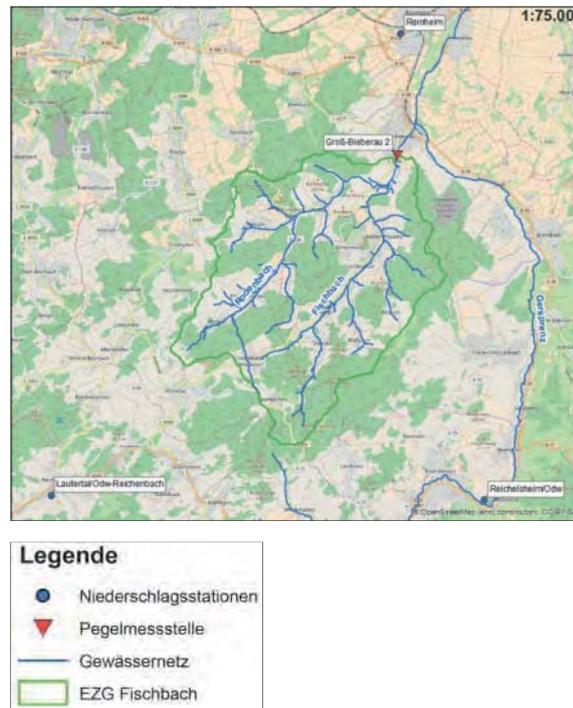


Abbildung 45: Übersichtsplan des Fischbach-Einzugsgebietes inklusive Gewässernetz, Pegel- und Niederschlagsstationen (Hintergrundkarte: OSM)

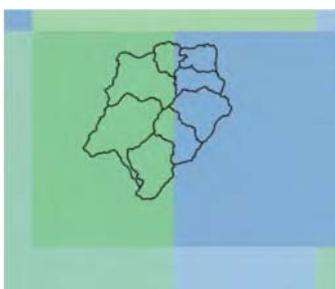


Abbildung 46: Darstellung der relevanten Kacheln eines Satellitenbildes mit farbiger Darstellung der unterschiedlichen Niederschlags-höheninformationen

Für die Studie wurden Satellitenbilder der GPM Mission der NASA und Bodenmessdaten des Deutschen Wetterdienstes der Stationen Reinheim, Reichelsheim und Lautertal, jeweils in täglicher Auflösung, verwendet (Abbildung 46). Der ausgewählte Beobachtungszeitraum beläuft sich auf die hydrologischen Jahre 2015-2017.

Im statistischen Vergleich konnte gezeigt werden, dass beide Zeitreihen eine gleiche saisonale Verteilung der Niederschläge aufweisen (Abbildung 47). Darüber hinaus unterliegen die Daten jeweils keinem nennenswerten räumlichen Verteilungsmuster, d.h. im Süden des Gebietes fällt im Schnitt genauso viel Niederschlag wie im Norden. Im Vergleich der jährlichen Niederschlagssummen ist die der Satellitendaten um ca. 7 Prozent größer als die der Bodenmessdaten. Bei der Untersuchung

der 5-Tagesmittelwerte beträgt der Volumenunterschied jedoch lediglich 1,3 Prozent, wobei die Satellitendaten den größeren Anteil einnehmen.

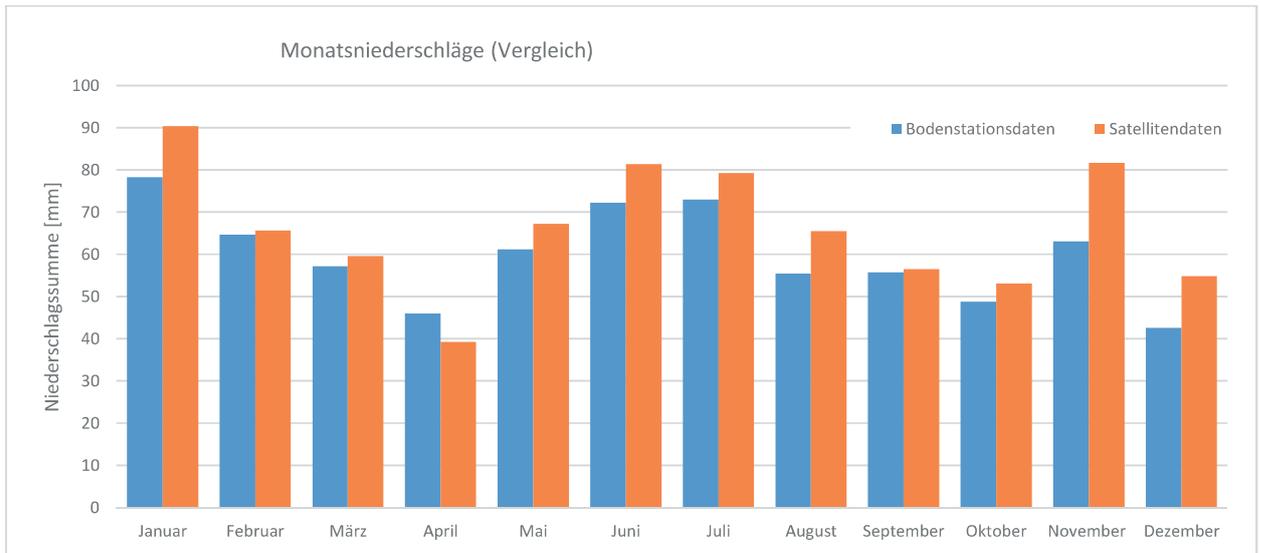


Abbildung 47: Vergleich der Monatssummen

Anhand einer Doppelsummenanalyse auf Basis der 5-Tagesmittelwerte konnte ein konsistentes und homogenes Verhalten beider Niederschlagszeitreihen zueinander gezeigt werden. Das Korrelationsverhalten beider Zeitreihen zueinander wird als sehr gut bewertet. Eine größere Differenz zwischen beiden Datenquellen besteht allerdings in der Anzahl an registrierten Niederschlagsereignissen. In 1096 Tagen wurden anhand der Satellitendaten 307 Ereignisse bzw. Tage, an denen Niederschlag fällt, registriert und gespeichert. Im Vergleich dazu registrierten die Bodenmessstationen 583 Tage mit Niederschlag. Die Tatsache, dass weniger Niederschlagsereignisse durch Satellitenbilder registriert wurden, kann zum einen auf die Einschränkung der Satellitendaten bzgl. der Detektion sehr kleiner Niederschlagsintensitäten (Grenze liegt bei 0,1 mm/h) und zum anderen auf die geringe zeitliche Auflösung, im Vergleich zu den Bodenmessdaten, zurückgeführt werden. So können Niederschläge mit sehr geringer Intensität oder von kurzer Dauer für die Momentaufnahme der Satellitenbilder unerkannt bleiben. Wie die vorherige volumetrische Analyse zeigte, nimmt dies jedoch einen weniger großen Einfluss als erwartet. Die statistische Analyse zeigt zudem anhand des Vergleichs niederschlagsintensiver Tage, dass die geringe räumliche Auflösung der Bodenmessdaten ebenfalls zu Differenzen zwischen beiden Datenquellen führen kann.

Die Ergebnisse der im Anschluss jeweils durchgeführten N-A-Modellierungen, in denen die Satellitendaten und die Bodenmessdaten als Niederschlagskomponente eingehen, wurden mit der gemessenen Abflussganglinie am Pegel Groß-Bieberau 2 verglichen und kalibriert. Der dreijährige Beobachtungszeitraum wurde hierbei für die Modellierung in einen zweijährigen Kalibrierungs- und einen einjährigen Validierungszeitraum unterteilt.

Insgesamt bilden die Ergebnisse des kalibrierten Bodenstation-Modells hinsichtlich der visuellen und statistischen Analyse die Pegelganglinie leicht besser ab, als das Satellitendaten-Modell. Der visuelle Vergleich zeigt, dass beide Modellganglinien an einigen Tagen die Pegelganglinie sowohl unter- als auch überschätzen. Das Bestimmtheitsmaß wird mit sehr gut im Falle der Bodenstationsdaten und mit gut bzgl. der Satellitendaten bewertet. Die stärkere Abflussspitzenüberschätzung des Satellitendaten-Modells an vereinzelt Tagen wirkt sich negativ auf den betrachteten Volumenfehler und die Nash-Sutcliffe-Effizienz aus. An den meisten Tagen wird jedoch von beiden Modellen die Abflussganglinie gut getroffen und somit die Kalibrierungsergebnisse beider Modelle insgesamt als zufriedenstellend bewertet (Abbildung 48).

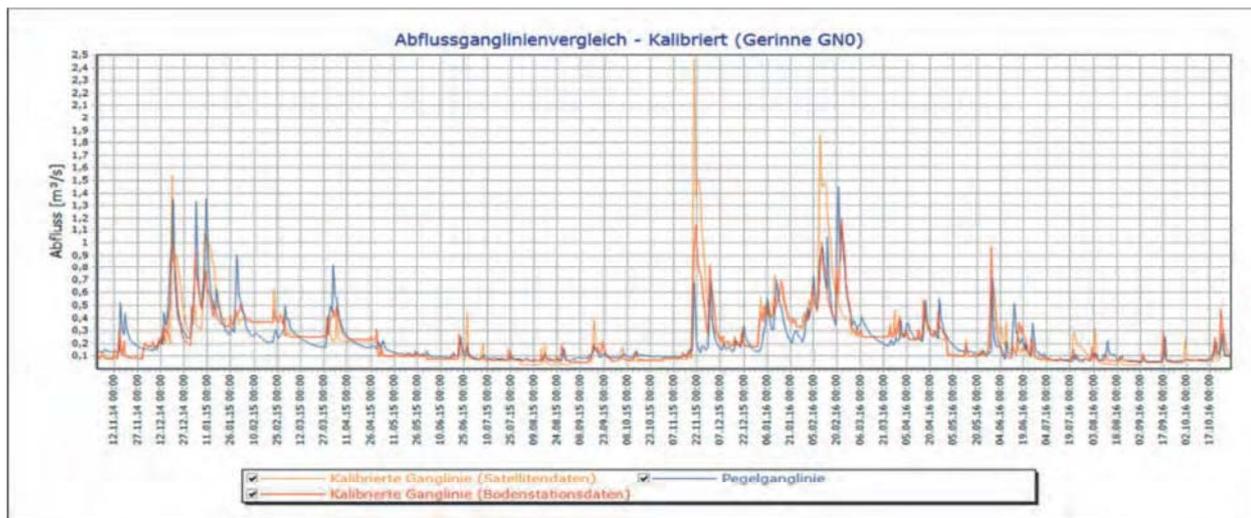


Abbildung 48: Vergleich beider kalibrierter Ganglinien in Bezug zur Pegelganglinie

Die Ergebnisse der Validierung sind für beide Modelle insgesamt weniger gut. Der visuelle Abgleich der modellierten Ganglinien mit der Pegelganglinie weist jeweils kontinuierliche Basisabflussüberschätzungen für mehrere Monate auf. Aufgrund der leicht stärkeren vereinzelt Abflussspitzenüberschätzungen des Bodendaten-Modells wird das Satellitendaten-Modell als leicht zufriedener bewertet. Das weniger gute Ergebnis der Validierung spiegelt sich zudem in den Güteparametern wieder, das jeweilige Bestimmtheitsmaß der validierten Modelle wird als unzureichend eingestuft.

Anhand der Modellierungsergebnisse konnte gezeigt werden, dass die Einflussnahme der gewählten Zeiträume für die Kalibrierung und die Validierung sowie der davon anhängigen, sich mehr oder weniger stark unterscheidenden, Referenzwerte (Pegelabfluss) verhältnismäßig groß ist. So ist der Kalibrierungszeitraum von zwei Jahren zwar ausreichend, um für diesen Zeitraum eine gute Modellgüte zu erreichen, jedoch nicht genügend, um das Modell zu validieren und somit nur eine eingeschränkte Aussage über die Modellqualität und dessen Realitätstreue getroffen werden kann.

Insgesamt kann jedoch aus der statistischen Analyse und den Modellierungsergebnissen die Plausibilität der Niederschlagsinformationen beider Datenquellen sowie anhand des Vergleichs der Niederschlagszeitreihen zueinander eine gute Konsistenz und ein gutes Korrelationsverhalten festgestellt werden. Die zu Beginn der Untersuchung festgestellten Differenzen zwischen beiden Niederschlagszeitreihen, wie der Volumenunterschied, die Anzahl der Ereignisse und die stärkere Überschätzung von Abflussspitzen, sowie die jeweiligen Einschränkungen der Datenquellen, wirkten sich hierbei nur gering auf die Parametrisierung des N-A-Modells aus. Abschließend wird auf Basis der durchgeführten Untersuchungen das Fazit gezogen, dass Niederschlagsinformationen aus der Fernerkundung vergleichbar gute Ergebnisse in der hydrologischen Modellierung liefern wie Bodenmessdaten.

Referenzen

Köpke, P; Sachweh, M. (2012): Satellitenmeteorologie. Verlag: Ulmer, Stuttgart. Bandnr.: 3525. 1. Aufl. ISBN: 978-3-8252-3525-3. Abrufbar unter <http://www.utb-studi-eook.de/9783838535258>.

Mykytenko, I. (2017): Implementierung einer ArcGIS Erweiterung zur automatisierten Auswertung von Klimadaten aus der Satellitenfernerkundung. Masterthesis. TU Darmstadt, Fachgebiet für Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung.

Auswirkung der Aufbereitung und Verwendung verschiedener Niederschlagseingangsdaten auf die Ergebnisse in der Starkregenmodellierung



Lukas Schürmann

Studiengang Bauingenieurwesen

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Jedes Jahr verursachen Überschwemmungen in Deutschland immense Schäden. Mit der EG-Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie HWRM-RL (2007/60/EG) sind entlang von größeren Fließgewässern entsprechende Vor- und Nachsorgepläne europaweit verpflichtend und weitestgehend umgesetzt worden. Weniger geschützt sind die Menschen jedoch gegenüber Überschwemmungen durch Starkregenereignisse, die nahezu überall und plötzlich auftreten können. Starkregenereignisse sind allerdings für fast die Hälfte der entstandenen Hochwasserschadenssumme in den letzten Jahren verantwortlich. (GDV, 2013) Die Problematik der Starkregenhochwasser wird auch durch eine prognostizierte Zunahme solcher Ereignisse im Zuge des Klimawandels verstärkt (IPCC, 2014).

Daher werden in dieser Masterarbeit die Möglichkeiten der Aufzeichnung und Modellierung von Starkregenereignissen anhand unterschiedlicher Eingangsdaten untersucht. Dafür werden Stationsmessdaten und die daraus entwickelten KOSTRA-2010R-Tabellen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) mit Radaraufzeichnungen im Modellgebiet des Fischbach Einzugsgebietes (Odenwald) verglichen. Radarmessungen stellen im Gegensatz zu den Bodenstationen eine indirekte flächenhafte Messmethode dar, anhand derer die Aufzeichnung auch kleiner konvektiver Gewitterzellen möglich ist (Winterrath, 2016). Die Anpassungs- und Korrekturverfahren sind in ihrer Wirksamkeit begrenzt und berücksichtigen zum Beispiel die Verdriftung durch Wind noch nicht. Der Niederschlag, der am Boden auftrifft, kann sich daher von den Radarwerten unterscheiden. Um die Differenz zur Messung der Bodenstationsdaten möglichst gering zu halten, führt der DWD die Aneichung der Radarmessungen an die Bodenmessstation (RADOLAN – Radar-Online-Aneichung) durch.

Für einen Vergleich der Niederschlags-Datengrundlage wird eine Extremwertstatistik der Radardaten (RADOLAN-RW) nach DWA A 531 entwickelt, wie sie auch bei den KOSTRA-Tabellen verwendet wird. So ergibt sich eine Extremwertstatistik mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren für die Dauerstufe 1 Stunde. Für einzelne Pixel-Werte beträgt die Niederschlagsintensität nur knapp 30 mm/h bis über 80 mm/h, während die Extremwerte der beiden Bodenstationen Modautal-Brandau und Reinheim 43 mm/h bzw. 49 mm/h betragen. In Abbildung 49 wird deutlich, dass die Messstationen und dadurch die KOSTRA-Tabellen das Gebiet nur sehr grob erfassen.

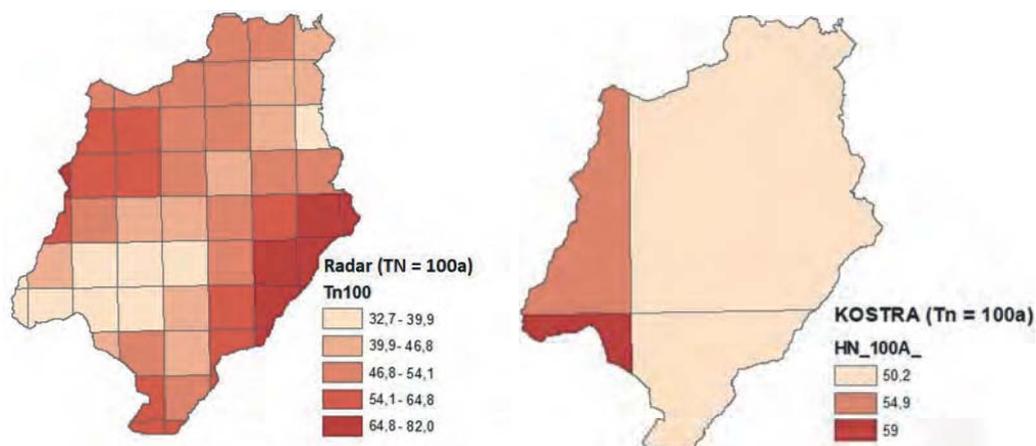


Abbildung 49: Vergleich der Radardaten und der Werte nach KOSTRA-2010R für TN=100a und D=1h

Die Problematik von Starkregenereignissen ist, dass sie nur sehr lokal, dafür aber sehr heftig auftreten. Dies führt zu einer deutlichen Unterschätzung von Regenintensitäten in manchen Gebieten durch die

Bodenstationen. Mit den Radardaten lassen sich Niederschläge hingegen räumlich hoch aufgelöst darstellen.

Um den Einfluss der Daten auf die Modellierung von Starkregenereignissen zu zeigen, werden im Anschluss Starkregensimulationen mit dem Programm FloodArea der Firma Geomer für verschiedene Szenarien durchgeführt. Es wird eine 2D-hydrodynamische Simulation mit direkter Berechnung (Direct-Rainfall-Methode) verwendet. Eine 2D-Simulation ist bei Starkregen zu empfehlen, um die Fließwege in der Fläche sowie die Interaktion von Gewässer und Vorland abzubilden. (Assmann et al., 2012) Es werden zwei reale Ereignisse (26.08.2011 und 09.06.2007) mit der Berechnung aus den Messdaten der Bodenstationen und mit den Eingangsdaten der Radarmessung gerechnet. Zwischen den Stationen wird zur Ermittlung des Gebietsniederschlags linear mittels IDW-Verfahren interpoliert. Zusätzlich werden zwei 100-jährige statistische Niederschlagsereignisse, je einmal nach RADOLAN-Auswertung und nach KOSTRA-2010R verteilt, miteinander verglichen. Der Effektivniederschlag wird anhand eines vereinfachten hydrologischen Verfahrens (SCS-CN Methode) berechnet. Zur verbesserten Darstellung der zeitlichen Komponente der Niederschlagsereignisse werden die höher aufgelösten 5-minütigen RY-Daten des DWD verwendet. Sie bilden durch ihre zeitliche Auflösung Anfang und Ende sowie Ziehrichtung des Ereignisses das Geschehen deutlich besser ab.

Die Ergebnisse der Simulationen zeigen sehr deutlich, dass mit den weit auseinanderliegenden Bodenstationen ein Starkregenereignis nur sehr schlecht abgebildet werden kann. So werden z.B. am 09.06.2007 für die Kläranlage Modautal-Brandau der maximale Wert von 39,8 mm/h gemessen, während in Reinheim am ganzen Tag nicht mehr als 1 mm/h fällt. Mit der Betrachtung der RY-Daten lässt sich das Niederschlagsgeschehen deutlich besser nachvollziehen. Die maximale Intensität innerhalb des Fischbach-Einzugsgebietes beträgt 65 mm/h. In Tabelle 2 ist der Einfluss der Berechnung des Effektivniederschlags anhand des SCS-Verfahrens zu erkennen. Die Niederschläge der beiden RY-Simulationen fallen wesentlich konzentrierter auf wenige km². Dies geschieht hauptsächlich in den bewaldeten Hängen der Bergflanken, weshalb das Volumen des effektiven Niederschlags deutlich gedämpft wird. Ebenso fällt auf, dass einiges Wasser noch im Gebiet durch Muldenverluste zurückgehalten wird.

Insgesamt lässt sich durch diese Arbeit ein deutlicher Nutzen für das Verständnis von Starkregenereignissen aus der Verwendung von Radaraufzeichnungen erkennen. KOSTRA-Daten und Bodenstationen haben stellenweise Mängel bei der Modellierung von Starkregen aufgezeigt. Da Starkregenereignisse quasi überall auftreten können, ist eine andere Herangehensweise für die Erstellung von Starkregengefahrenkarten als für klassische Flusshochwasser notwendig.

Tabelle 2: Überblick über die simulierten Szenarien

Ereignis	Nges [Tm ³]	Neff [Tm ³]	Volumen nach 10h [Tm ³]
IDW 26.8.2011	859	227	21
Ry 26.8.2011	921	123	19
IDW 9.6.2007	508	104	20
Ry 9.6.2007	749	91	41
RADOLAN 100	1882	388	129
KOSTRA 100	1882	768	123

Literatur

Assmann, A., Fritsch, K. & Jäger, S. (2012). Starkregengefahrenkarten und Risikomanagement im Glems-Einzugsgebiet. Angewandte Geoinformatik 2012: Beiträge zum 24. AGIT-Symposium Salzburg agit2012 - GI Impulse vernetzen, 04.-06.07.2012: S. 576-685.

GDV (2014). Hochwasser 2013 - Zahlen und Fakten: Die meisten Schäden entstanden weitab der großen Flüsse (Flood 2013 – figures and facts: most losses occurred away from big rivers), German Insurance Association.

IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (Hrsg.) (2014). Climate Change 2013 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press.

LUBW, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (2016). Leitfaden Kommunales Starkregenrisikomanagement in Baden-Württemberg. 64 S.

Winterrath, T. (2016). Hochaufgelöste Niederschlagsklimatologie für Deutschland zur nutzerspezifischen Analyse von Extremereignissen. Annalen der Klimatologie No. 10. Annaberger Klimatage. Offenbach am Main: Selbstverlag des DWD: S. 42-43.

Chinesisch-Deutsche Kooperationsgruppe

Die von Prof. Schmalz, ihwb, und Prof. Wang, Nanjing University of Information Science & Technology, beantragte Chinesisch-Deutsche Kooperationsgruppe wurde im Mai 2018 für die Dauer von drei Jahren bewilligt. Die Förderung erfolgt durch das Chinesisch-Deutsche Zentrum für Wissenschaftsförderung (CDZ), einer Forschungsförderungseinrichtung der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) und der National Natural Science Foundation of China (NSFC) mit Sitz in Peking. Gemeinsame Workshops in China und Deutschland sowie gegenseitige Besuchsreisen sollen gemeinsame Forschungsvorhaben zu einem wissenschaftlichen Leitthema hervorbringen. Die Kooperationsgruppe umfasst von deutscher Seite 18 Mitglieder der TU Darmstadt, TU München sowie der Universitäten Kiel, München, Gießen und Heidelberg. Die 18 chinesischen Mitglieder kommen von folgenden Institutionen: Nanjing University of Information Science & Technology, National Climate Center of China Meteorological Administration, Ningbo University, Nanjing Institute of Geography & Limnology of Chinese Academy of Sciences und East China Normal University.

Die Kooperationsgruppe zum “Risikomanagement von Wasserknappheit: Integration von Klima- und sozioökonomischen Szenarien” wird sich auf die folgenden drei Forschungsthemen konzentrieren:

- Wasserversorgung unter verschiedenen Klimaszenarien,
- Wasserbedarf im Zuge sozioökonomischen Entwicklungen,
- Wasserbewirtschaftung und integriertes Risikomanagement von Wasserknappheit.

Kick-off Workshop in Nanjing im September 2018

Vom 18.-20. September 2018 fand der Kick-off Workshop an der University of Information Science & Technology in Nanjing statt. Von deutscher Seite waren 15 Teilnehmende angereist; der chinesische Teilnehmerkreis setzte sich aus den Mitgliedern der Kooperationsgruppe sowie weiteren an Kooperation interessierten WissenschaftlerInnen zusammen. Der Workshop begann mit der Eröffnungszereemonie, in der verschiedene Begrüßungsreden gehalten wurden und feierlich eine Plakette der Kooperationsgruppe enthüllt wurde. Es folgten drei Keynote-Vorträge sowie zahlreiche Fachvorträge der Teilnehmenden. Am dritten Tag wurde über mögliche Perspektiven zukünftiger klimatischer, hydrologischer und sozioökonomischer Entwicklungen, potentielle Fördermittelgeber und die Planung zukünftiger Projektkooperationen diskutiert. Es schloss sich am Nachmittag eine Exkursion an den Jangtse an. Es wurden ein Sperrwerk, eine Brücke und ein Feuchtgebiet besichtigt.

Alle drei Tage waren durch eine angenehme, interessierte Atmosphäre geprägt, die auch durch den offiziellen Charakter chinesischer Traditionen ergänzt wurde. Die freundschaftliche Stimmung ist auf eine langjährige Chinesisch-Deutsche Zusammenarbeit einer Kerngruppe der Teilnehmenden zurückzuführen. Die langjährigsten Kontakte bestehen seit 19 Jahren. Auch für Prof. Schmalz war es bereits die zehnte Reise nach China seit 2006. Außerdem konnte die diesjährige Reise genutzt werden, um neue Kontakte zu knüpfen. Durch die Fachvorträge stellten sich die Teilnehmenden gegenseitig ihre

Expertise vor. Dies ist ein guter Anknüpfungspunkt für die mögliche Zusammenarbeit innerhalb der Kooperationsgruppe. Geplant sind weitere gegenseitige Besuche im Laufe der nächsten Monate sowie ein zweiter Workshop im September 2019 an der TU Darmstadt.



Abbildung 50: Feierliche Enthüllung der Plakette der Kooperationsgruppe (links oben), Teilnehmende der TU Darmstadt am Kick-off-Workshop in Nanjing (rechts oben) und Gruppenfoto auf der Exkursion an den Jangtse (unten) (Fotos: B. Schmalz und N. Wu 09/2018)

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

In diesem Kapitel möchte das Institut herausragende studentische Abschlussarbeiten aus dem vergangenen Jahr würdigen. Alle im Folgenden portraitierten Arbeiten wurden von den Professoren für den Preis des Fördervereins vorgeschlagen – eine Auswahljury hat daraus dann schließlich einzelne Arbeiten ausgewählt und während des DAWAKO dann die Preisvergabe durchgeführt.

Sink- und Bewegungsverhalten von Mikroplastik im Wasser

Viola Haase

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik



Veranlassung und Zielsetzung

Wer sich mit dem Themenkomplex „Mikroplastik“ auseinandersetzt, wird regelrecht überrollt von der Flut an Informationen, die in allen Medienformaten kursieren: Artikel über Mikroplastik in Süßwassersystemen und marinen Gewässern, in kosmetischen Produkten oder Texte zu verendeten Tieren mit Mikroplastik in ihrem Verdauungstrakt. Es wird schnell deutlich, dass Mikroplastik sowohl in den Medien als auch in der Umwelt omnipräsent ist.

Das Bild über Schadenspotentiale von Mikroplastik in der Umwelt und sein hohes Aufkommen in unterschiedlichen Ökosystemen wird immer deutlicher. Doch fehlt es an systematischen Studien zu seinem hydrodynamischen Verhalten. An dieser Stelle setzt die hier vorgestellte Masterthesis mit der zentralen Fragestellung an, ob Mikroplastik in seinem hydrodynamischen Verhalten vergleichbar zu natürlichen Partikeln ist. Erste Arbeiten, die sich mit dem Transportverhalten von Mikroplastik im Wasser beschäftigen gehen davon aus, dass gängige numerische Simulationsprogramme und Gleichungen, welche die Transportprozesse natürlicher Partikel beschreiben, mit sehr geringen Anpassungen, insbesondere bezüglich der Partikeldichte, auf Mikroplastikpartikel übertragen werden können.

Methodik

Der natürliche Schwebstofftransport basiert auf der Diffusionstheorie nach Schmidt zur Staubverteilung in der Atmosphäre. Diese Theorie wurde unter Einbezug vieler Vereinfachungen auf den Schwebstofftransport natürlicher Sedimente im Wasser übertragen (Schröder & Zanke, 2003). Ein zentraler Parameter der daraus entwickelten Gleichung bildet die Sinkgeschwindigkeit. Innerhalb der hier vorgestellten Arbeit wird dieser Parameter herausgestellt und sowohl in den Grundlagenkapiteln theoretisch, als auch in Sinkversuchen für Mikroplastikpartikel praktisch untersucht. Die Versuche werden in einem 2 m hohen Standzylinder bei ruhendem Wasser mit großem Mikroplastik, welches eine höhere Dichte als Wasser aufweist, durchgeführt (Abbildung 51).

Dabei werden unterschiedliche, gängige Ansätze zur Berechnung der Sinkgeschwindigkeit eingesetzt und es wird geprüft, ob diese die Sinkgeschwindigkeit von Mikroplastikpartikeln adäquat beschreiben können. Zudem werden Ansätze zur Berechnung von Gruppensinkgeschwindigkeiten und der Einfluss von Biofilmen auf das Sinkverhalten von Mikroplastikpartikeln diskutiert. Auf Basis der theoretisch untersuchten Gleichungen und aufgestellten Hypothesen zu möglichen Abweichung der Sinkgeschwindigkeit von Mikroplastik bezogen auf natürliche Partikel, werden drei Versuchsstaffeln entwickelt (Tabelle 3).

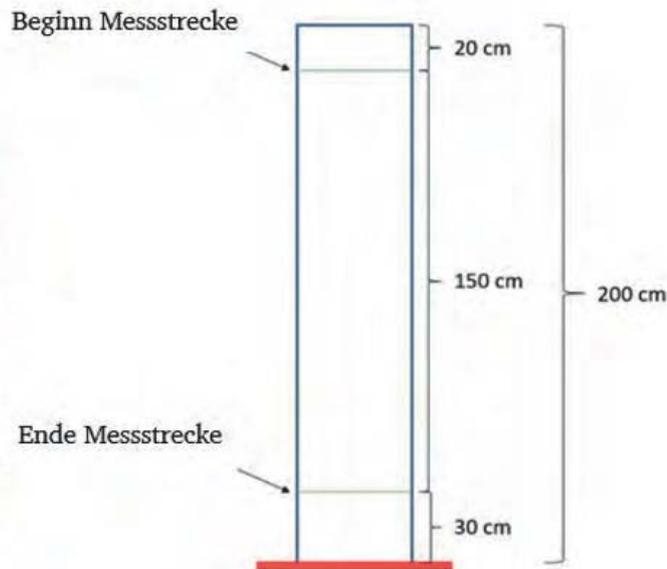


Abbildung 51: Standzylinder

Tabelle 3: Versuchsstaffeln

1. Versuchsstaffel	2. Versuchsstaffel	3. Versuchsstaffel
<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Untersuchung des Sinkverhaltens von Einzelpartikeln aus Mikroplastik • Messungen der Sinkgeschwindigkeit und ein Vergleich zu berechneten Werten • Bewertung der Anwendbarkeit eingesetzter Gleichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Qualitative Untersuchung des Sinkverhaltens von Partikelgruppen aus Mikroplastik • Vergleich zu Phänomenen die beim Absinken natürlicher Partikelgruppen zu beobachten sind • Erklärungen zu beobachteten Abweichungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung von Partikeln mit Biofilm als ein Alterungsprozess von Mikroplastik • Vergleich mit Partikeln aus der 1. Versuchsstaffel • Identifizierung des Einflusses eines Biofilms auf die Sinkgeschwindigkeit von Mikroplastikpartikeln

Ergebnisse

Zusammenfassend zeigen die durchgeführten Versuche, dass Mikroplastik in seinem Sinkverhalten viele Ähnlichkeiten zu natürlichen Partikeln aufweist. Allerdings ist eine deutliche Abhängigkeit der Sinkgeschwindigkeiten von der Partikelform festzustellen.

Diese Formabhängigkeit gilt grundsätzlich für alle Partikel und kann in vielen Fällen als Urheber von Abweichungen zwischen berechneten Werten für die Sinkgeschwindigkeiten und Messwerten identifiziert werden. Allerdings weichen die Formen der Mikroplastikpartikel häufig von natürlichen Partikelformen ab. Die halb empirischen Gleichungen zur Berechnung von Sinkgeschwindigkeiten basieren jedoch auf Messwerten von absinkenden Kugeln oder natürlichen Sedimenten. *Abbildung 52* zeigt die Abweichungen zwischen berechneten Sinkgeschwindigkeiten und Messwerten von untersuchten PVC-Partikeln. Dabei ändert sich nur die Partikellänge, auf die die Abweichungen bezogen werden. Es wird deutlich, dass die Abweichungen steigen je länglicher die Partikelform ist, also je stärker die Partikelform von einer gut abgerundeten, kompakten Form wie sie natürliche Partikel aufweisen abweicht.

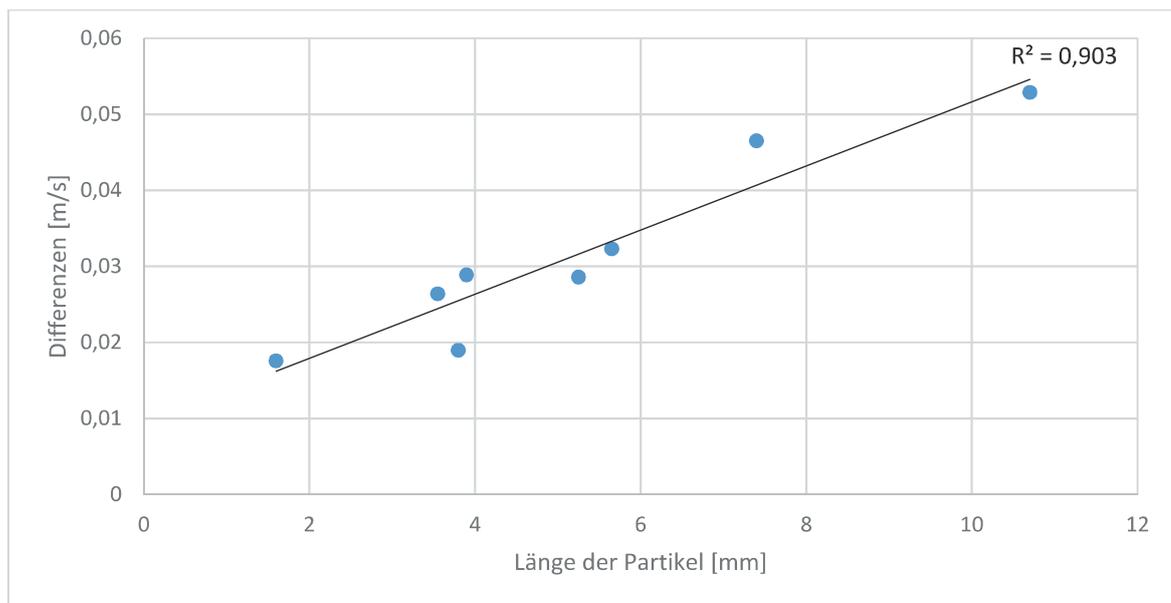


Abbildung 52: Korrelation zwischen Partikellängen und Differenzen von Messwerten zu berechneten Werten

Ein weiterer Aspekt für Abweichungen von Messwerten zu berechneten Werten sind die zumeist hydrophoben Oberflächen der Partikel aus Mikroplastik, die dazu neigen Luftbläschen mitzuführen und damit die Sinkgeschwindigkeit zu verfälschen. Diese Oberflächeneigenschaften werden durch einen Biofilm an den Partikeln neutralisiert.

Fazit und Ausblick

Grundsätzlich hat der Umstand, dass es sich bei den untersuchten Partikeln um Mikroplastikpartikel handelt, nur einen marginalen Einfluss auf deren Sinkverhalten. Solange die Dichte des Mikroplastiks höher ist als die von Wasser und die Partikelformen ähnlich zu denen natürlicher Partikel sind, verhält es sich ähnlich zu natürlichen Schwebstoffen. Doch da die Partikelformen von Mikroplastik häufig anders ausfallen, sind insbesondere Gleichungen zur Berechnung der Sinkgeschwindigkeit natürlicher Partikel mit Vorsicht zu genießen. Es ist allerdings zu überlegen, ob die empirischen Anteile dieser Formeln, sowie verschiedene Formfaktoren in Zukunft auf Mikroplastik angepasst werden können und sollten. Außerdem wären weitere Untersuchungen insbesondere zur Ausbildung eines Konzentrationsprofils von Partikeln aus Mikroplastik über Gewässerquerschnitte sinnvoll, um Formeln zum quantitativen Schwebstofftransport auf Mikroplastik anwenden zu können.

Literatur

Schröder, R., Zanke, U. (2003): Technische Hydraulik - Kompendium für den Wasserbau. Berlin Heidelberg New York: Springer Verlag

Modell- und Methodenvergleich zur ereignisbasierten Erosionsmodellierung



Tobias Kaiser

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

B.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Ziel der Arbeit war es, wesentliche Unterschiede in der Abbildung singulärer Erosionsprozesse zwischen den beiden physikalisch-basierten Modellen WEPP (Water Erosion Prediction Project) und KINEROS2 (KINematic runoff and EROsion model 2) zu erarbeiten. Allgemein werden Erosionsmodelle nach den Typen empirische Modelle, Konzeptmodelle und physikalisch-basierte Modelle unterschieden, wobei letztere Prozesse soweit möglich durch physikalische Zusammenhänge beschreiben. Da hierdurch, im Gegensatz zu empirischen Ansätzen, auch zeitlich hochaufgelöste Modellierungen des Erosionsprozesses möglich sind, kann auch der Sedimentabtrag von Einzelereignissen abgebildet werden. Das Modell WEPP kann sowohl Einzelereignisse als auch kontinuierlich modellieren, wohingegen KINEROS2 speziell für die ereignisbasierte Modellierung entwickelt wurde. Es sollte untersucht werden, welcher Unterschied in den Modellansätzen und folgenden Modellierungsergebnissen aus diesen unterschiedlichen Entwicklungsansätzen der Modelle folgt.

Die in der Arbeit durchgeführten Modellierungen beziehen sich auf eine Teilfläche des landwirtschaftlichen Untersuchungsgebiets des Forschungsverbundes Agrarökosysteme München (FAM) in Scheyern 40 km nördlich von München. Es liegt ein achtjähriges hochaufgelöstes Monitoring von Klima und Landnutzung sowie Abfluss- und Sedimentmessungen vor. Aus diesen Messreihen wurden vier Einzelereignisse mit relativ hohen Abflüssen und Sedimentabträgen ausgewählt, die durch das Modell KINEROS2 modelliert wurden. Generell sollten die Ereignisse in ihrer Charakteristik bezüglich Vorfeuchte des Bodens, der Ereignisdauer, der Landnutzung sowie dem Verlauf der Niederschlags- und Abflussganglinien möglichst unterschiedlich sein. Aufgrund des ereignisbasierten Ansatzes wurde darauf geachtet, Erosionsereignisse auszuwählen, die nicht länger als zwei bis drei Tage andauern. Die Niederschlagsintensitäten sind bei allen erosiven Ereignissen im Messzeitraum und auch den vier ausgewählten Ereignissen eher gering, die Niederschlagsdauer ist dagegen relativ lang. Modellierungen in WEPP wurden zur Verfügung gestellt, wobei soweit möglich die in KINEROS2 kalibrierten Parameter (insbesondere Infiltration und Rauheit) gewählt wurden und weitere Parameter (insbesondere für die kontinuierlichen Modellansätze) auf Default-Einstellungen belassen wurden. Die jeweiligen Modellergebnisse wurden untereinander und mit den vorliegenden Messwerten verglichen. Insgesamt können durch die Kalibrierung in KINEROS2 Abfluss und Sediment sehr gut an die Messungen angenähert werden. Mit identischen Eingangswerten weichen die Modellergebnisse aus WEPP deutlich von den Messwerten ab. Das Abflussvolumen wird in WEPP bis auf ein Ereignis um ca. 50 % überschätzt, der Bodenabtrag wird generell deutlich überschätzt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Volumenfehler der jeweiligen Modellierungsergebnisse für jedes modellierte Ereignis relativ zur Messung

Abfluss	Ereignis 175	Ereignis 228	Ereignis 229	Ereignis 331
KINEROS2	0 %	17 %	0 %	0 %
WEPP	- 45 %	57 %	52 %	55 %
Sediment	Ereignis 175	Ereignis 228	Ereignis 229	Ereignis 331
KINEROS2	- 1 %	- 12 %	0 %	0 %
WEPP	712 %	940 %	1.501 %	31 %

Neben der absoluten Abfluss- und Bodenabtragsmenge wurden auch Unterschiede in der Modellierung der Dynamik der Niederschlagsereignisse identifiziert. In KINEROS 2 werden die akkumulierten Niederschlagshöhen mit beliebiger zeitlicher Auflösung angegeben. Damit wird die Dynamik des Niederschlagsereignisses im Modell übernommen. In WEPP hingegen werden Kennwerte des Niederschlagsereignisses angegeben, aus welchen ein synthetisches Ereignis erzeugt wird. Diese von WEPP modellierte Dynamik der Niederschlagsereignisse unterscheidet sich in den untersuchten Fällen deutlich von der tatsächlich gemessenen Dynamik. Für die Modellierung singulärer Erosionsereignisse stellt sich dies als Schwäche des WEPP heraus, was sich auch in den modellierten Abflüssen erkennen lässt (Abbildung 53).

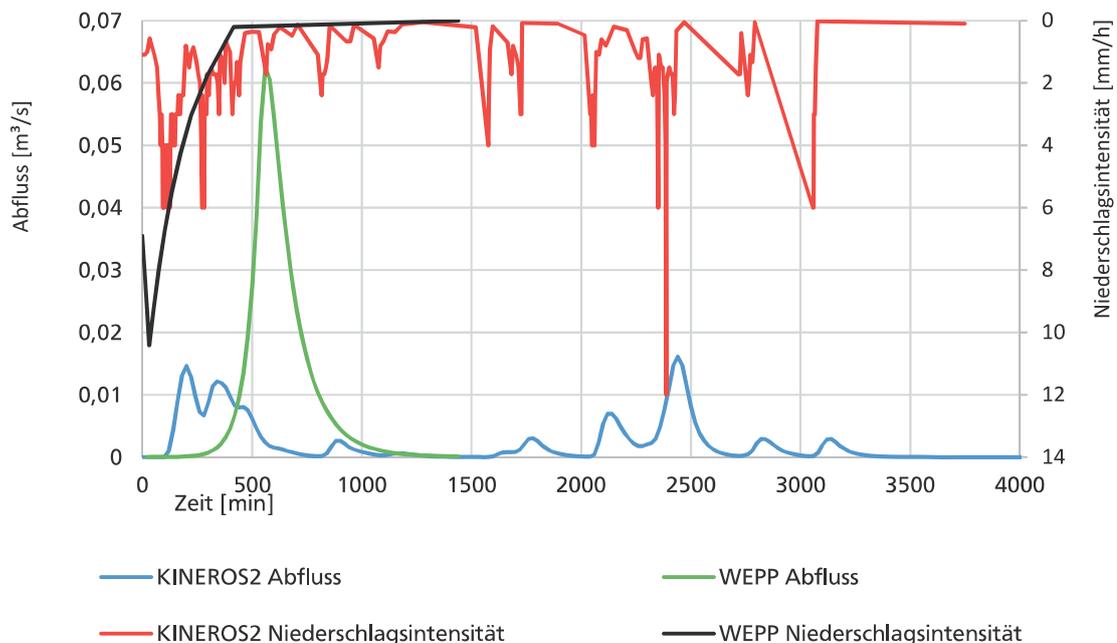


Abbildung 53: Modellierter Dynamik eines Niederschlagsereignisses und resultierender Abflüsse

Zusätzlich zu der unterschiedlichen Dynamik wurden auch Unterschiede bei den implementierten physikalischen Gesetzmäßigkeiten identifiziert. Die Modelle nutzen sowohl unterschiedliche Infiltrations- als auch Sedimenttransportbeziehungen.

Eine Literaturrecherche hat gezeigt, dass das in KINEROS2 verwendete Smith-Parlange-Infiltrationsmodell auf dem betrachteten Bodentyp bessere Ergebnisse liefert als die in WEPP verwendete modifizierte Form eines Green-Ampt-Infiltrationsmodells. Dies spiegelt sich auch in dieser Arbeit wieder. Der Abflussvolumenfehler bei KINEROS2 liegt trotz identischer Infiltrationsparameter deutlich niedriger als bei WEPP. Die implementierten Sedimenttransportbeziehungen bestimmen dagegen die Höhe des Bodenabtrags maßgebend. KINEROS2 nutzt eine Beziehung nach Engelund & Hansen, wohingegen WEPP den Ansatz nach Yalin nutzt. Die Literaturrecherche hat hier gezeigt, dass der Ansatz nach Yalin den Sedimentabtrag schnell überschätzen kann, wohingegen die Beziehung nach Engelund & Hansen für einen breiten Korngrößenbereich und verschiedene hydraulische Bedingungen realistische Werte liefert. Auch dies spiegelt sich in den Ergebnissen dieser Arbeit wieder.

Des Weiteren wurde identifiziert, dass die Fließlänge auf den Teilelementen in WEPP auf Grund der resultierenden synthetischen Abflüsse einen deutlichen Einfluss auf die Höhe des modellierten Bodenabtrags hat. In KINEROS2 spielt dieser Faktor weniger stark eine Rolle. Lange Fließwege in WEPP führen zu einer deutlichen Überschätzung des Bodenabtrags, vor allem im Bereich des Hangfußes.

Die Ergebnisse dieser Arbeit legen nahe, dass sich KINEROS2 bei Nutzung möglichst identischer Eingangsdaten besser für die Abbildung der in dieser Arbeit betrachteten singulären, besonders erosiven

Ereignisse eignet als das Modell WEPP. Die kalibrierten Modellierungsergebnisse in KINEROS2 stimmen im Gegensatz zu den Ergebnissen in WEPP generell sehr gut mit den Messwerten überein. Als Hauptgrund dafür kann neben unterschiedlichen genutzten Infiltrations- und Sedimenttransportbeziehungen sowie einem unterschiedlich starken Einfluss der Fließlänge die fehlende Möglichkeit in WEPP gesehen werden, die Dynamik des Niederschlagsereignisses mit in die Modellierung zu übernehmen.

Entwicklung eines alternativen Ansatzes zur Bewertung von Hochwasserrisiken in kleinen Einzugsgebieten

Chantal Kipp

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung



Veranlassung und Ziele

Dem Klimareport des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zufolge ist die Zunahme von Extremereignissen wie konvektiver Niederschläge wahrscheinlich (IPCC, 2014). Starkregenniederschläge begünstigen insbesondere das Auftreten von Überflutungen abseits großer Gewässer und in kleinen Einzugsgebieten, welche dem klassischen Flusshochwasser entgehen (siehe Abbildung 54).

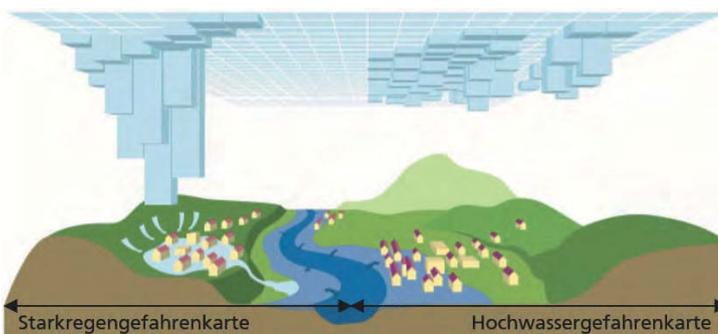


Abbildung 54: Darstellung der vorausgehenden Niederschlagsform und deren Folgewirkung (nach LUBW, 2016)

Bereits im Jahr 2014 bezifferte auch der Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft (GDV) Hochwasserschäden fernab von großen Flüssen infolge von Starkregenereignissen auf 50 Prozent der versicherten Gesamthochwasserschäden (GDV, 2014). Hochwasser ausgehend von Starkregenfällen werden jedoch gemäß des deutschen Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) sowie der europäischen Hochwasserrisikomanagement-Richtlinie (HWRM-RL) im Gegensatz zu Flusshochwasser kein signifikantes

Hochwasserrisiko zugeschrieben, weshalb keine gesetzliche Verpflichtung besteht, entsprechende Starkregengefahrenkarten analog zu den etablierten Hochwassergefahrenkarten zu erstellen (LAWA, 2017). Nichtsdestotrotz setzte Baden-Württemberg 2016 einen Meilenstein mit der Veröffentlichung eines Starkregen-Praxisleitfadens in diesem Bereich und ist Vorbild für aktuelle Bestrebungen der Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) für ein Strategiepapier für ein effektives Starkregenrisikomanagement, welches eine einheitliche Handlungsempfehlung auf Bundesebene garantieren soll. Auf eine bundesweit regelnde Gesetzgebung diesbezüglich muss jedoch weiterhin gewartet werden.

Hochwasser ausgehend von Starkniederschlägen und ausgehend von advektiven Niederschlägen lassen sich aufgrund der individuellen Charakteristika klar voneinander abgrenzen, welche gleichermaßen unterschiedliche Anforderungen an die Modellierung stellen. Demnach wird in der Praxis zur Berechnung von Hochwasserwellen zwischen entkoppelten und integrierten Modellsystemen unterschieden. Mittels einer traditionellen hydraulischen Modellierung entlang eines Flussschlauches können keine unabhängigen Überflutungsflächen im Gelände identifiziert werden, weshalb im Bereich der Starkregenmodellierung integrierte Modelle zum Einsatz kommen. Routingprozesse der hydrologischen sowie der hydrodynamischen Ebene erfolgen gemeinsam in einem Modell (Bout & Jetten, 2018). Ferner beruhen diese Modelle auf der Direct-Rainfall-Methode, welche eine rasterbasierte Ermittlung des Oberflächenabflusses im Gelände des Einzugsgebietes ermöglicht (EAWE, 2012). Im Rahmen der Arbeit wurde das freiverfügbare Modell openLISEM Version 4.96 der Universität Twente, welches einem integrierten Modellsystem entspricht, untersucht und hinsichtlich seiner Eignung zum Einsatz in der Starkregenmodellierung bewertet. Zur Verifizierung der gewonnenen Überflutungsergebnisse diente das entkoppelte hydraulische Modell HEC-RAS des Hydrologic Engineering Center der U.S. Army Corps of Engineers. Gegenstand der Untersuchung war dabei das Einzugsgebiet des Fischbachs im Odenwald, das eine Ausdehnung von 38 km² besitzt.

Methodik und Ergebnisse

OpenLISEM (Limburg Soil Erosion Model) ist ein deterministisches physikalisch-ereignisbasiertes Modell, welches die hydrologisch relevanten Teilprozesse der Interzeption, der Infiltration und des Oberflächenrückhaltes in seine Modellierung mit einbindet. Ermittelt werden weiterhin der Oberflächenabfluss, der Gerinneabfluss sowie die potentielle Überflutung entlang eines Gerinnes. Als Berechnungsgrundlage dienen je nach Modelleinstellungen die verschiedenen Approximationen der vollständigen 2D-Saint-Venant Gleichung. Als eine Besonderheit zeigte sich die Einbindung in das Geoinformationssystem PCRaster, mit dessen Anwendung die vom Modell geforderten räumlichen Eingangsdaten erzeugt werden. Hierzu zählen Parameter bezüglich der Landnutzung, des Bodens sowie des Gerinnes, wobei sich in dieser Arbeit bei Mehrheit der Variablen auf Literaturwerte berufen wurde. Die Niederschlagsdaten, welche elementar für die Modellierung sind, wurden aus aufbereiteten Zeitreihen der für das Einzugsgebiet bedeutsamen Bodenmessstationen des Beobachtungszeitraumes 2004 bis 2016 gewonnen. Insgesamt wurden vier Starkregenereignisse, zwei advektive Niederschläge, die jeweils Jahreshöchstabflüsse bedingten, und ein Extremereignis mit einer Jährlichkeit von 100 Jahren, welches den Daten der Koordinierten Starkniederschlagsregionalisierung und -auswertung (KOSTRA) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) entstammt, simuliert. Bedingt durch die ereignisbasierte Modelleigenschaft openLISEMs musste individuell für jedes der ausgewählten Niederschlagsereignisse eine Kalibrierung anhand des beobachteten Abflusses am Bezugspegel erfolgen. Als sensitive Parameter erwiesen sich dabei die gesättigte hydraulische Leitfähigkeit der Böden sowie deren initialen Bodenfeuchten und die Rauigkeit nach Manning. Die Bewertung der Anpassungsgüte der kalibrierten Ergebnisse wurde, neben einer optischen Bewertung der Abflussganglinien, anhand der Gütekriterien des relativen Volumenfehlers, des Bestimmtheitsmaßes und der Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE) vorgenommen. Eine Ausnahme stellte hierbei jedoch die Modellierung des Einzelmodellregens nach KOSTRA dar. Aufgrund seines hypothetischen Charakters fand in diesem Fall keine Kalibrierung statt, das Ergebnis dieses Szenarios beruht auf den Mittelwerten der kalibrierten sensitiven Parameter der untersuchten Starkregenereignisse. Ausgehend von den hydrologischen Modellergebnissen, erfolgte exemplarisch für ein Ereignis der Vergleich auf hydraulischer Ebene. Hierfür wurden die modellierten Überflutungsflächen entlang des Hauptgewässerstrangs durch openLISEM mit dem gewonnenen Ergebnis einer 2D-hydrodynamischen Modellierung mit HEC-RAS verglichen.

Abschließend zeigte sich, gemessen an den drei Gütekriterien, dass für keines der Niederschlagsereignisse eine absolut zufriedenstellende Abflusskurve erzielt werden konnte. Dennoch kann von einer Realitätsnähe und einer richtigen Einschätzung des Niederschlag-Abfluss-Verhaltens im Projektgebiet durch openLISEM, sowohl bei der Modellierung von advektiven als auch konvektiven Niederschlägen, ausgegangen werden. Der Vergleich der hydrodynamischen Modellergebnisse openLISEMs mit denen des Modells HEC-RAS verdeutlicht, dass es insgesamt betrachtet zur Ausweitung gleicher Überflutungsbereiche in ähnlicher Größenordnung, die in unmittelbarer Verbindung

zum Gewässer stehen, kommt. Signifikante Fehler der hydraulischen Berechnungsebene openLISEMs können somit ausgeschlossen werden.

Fazit und Ausblick

Die Thematik der Starkregenmodellierung betreffend kann openLISEM als positives Beispiel vorangehen. Durch die integrierte rasterbasierte Modellierung können Fließwege, Fließgeschwindigkeiten und Fließtiefen im Gelände als Maximalwerte oder auch im zeitlichen Verlauf ausgegeben werden, sodass Rückschlüsse auf potentiell gefährdete Bereiche im Falle eines Starkregenereignisses und somit Kartierungen von potentiellen Überflutungsbereichen infolge von Starkregen möglich sind (siehe Abbildung 55).

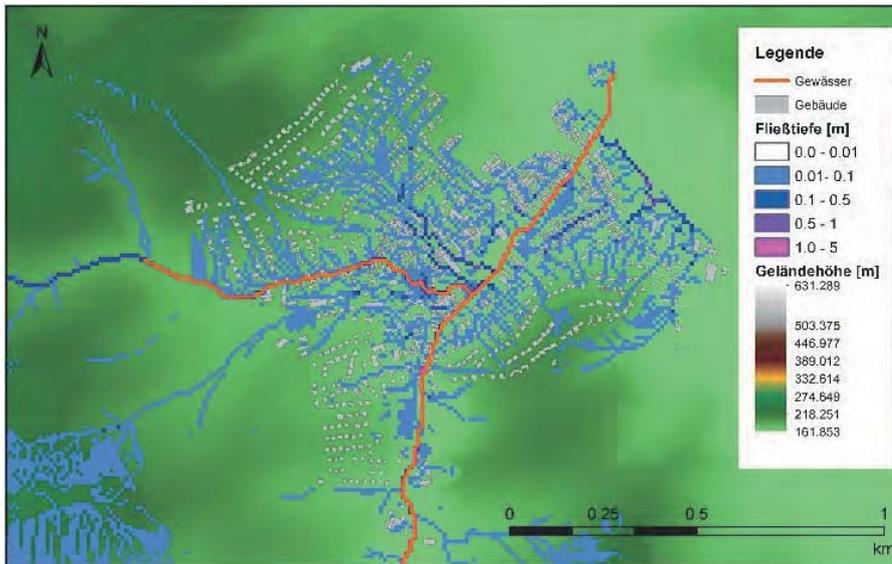


Abbildung 55: Identifizierte Fließwege im Gelände infolge des KOSTRA-Einzelmodellregens. Gering gefährdete Bereiche (0,01 – 0,1 m Fließtiefe), stark gefährdete Bereiche (>0,1 m Fließtiefe)

Der Vergleich der Model-
ltergebnisse mit HEC-RAS
zeigte weiterhin, dass o-
penLISEM auch hinsicht-
lich der Identifikation
von potentiell betroffe-
nen Flächen im klassi-
schen Flusshochwasser-
fall ähnliche Ergebnisse
liefern kann, wie die
etablierten entkoppelten
Systeme. Dennoch sollte
in diesem Zusammen-
hang festgehalten wer-
den, dass die Arbeit auf
der Modelleinstellung
der Oberflächenabfluss-
berechnung nach dem ki-
nematischen Wellenansatz
der Saint-Venant-
Gleichung beruht, bei

der der oberflächennahe Abfluss eindimensional entlang eines vordefinierten Fließrichtungnetzes entsprechend des digitalen Geländemodells generiert wurde. Eine mögliche Optimierung des Modells durch die zweidimensionale Berechnung nach dem diffusen oder dem dynamischen Wellenansatz für ein 2D-Routing des Oberflächenabflusses, welche openLISEM zur Verfügung stellt, erfolgte nicht. Insgesamt konnten im Rahmen der Arbeit jedoch Hinweise zu Arbeitsweise, Einschränkungen und Besonderheiten von openLISEM gegeben werden. Besonders aufzuführen ist hierbei die Unklarheit, die über die Einbindung des Gewässerstrangs in das Modell herrscht. Diese Problematik konnte aufgrund fehlgeschlagener Kontaktaufnahme zum Hauptentwickler openLISEMs nicht abschließend geklärt werden, weshalb die maximale Breite des untersuchten Gewässers die minimale Rasterauflösung für die Modellierung bedeutete. Auch die Einbindung hydrologisch wirksamer Strukturen, wie sie in der hydrodynamischen Modellierung von großem Vorteil ist, ist in die Modellierung mit openLISEM noch zu untersuchen. Um eine finale Empfehlung für openLISEM im Bereich der Entwicklung von Starkregengefahrenkarten aussprechen zu können, sollte ferner ein Vergleich mit weiteren integrierten Modellsystemen in Betracht gezogen werden.

Literatur

EAWC (2012): Australian Rainfall and Runoff. Project 15: Two Dimensional Modelling in Urban and Rural Floodplains (stage 1 and 2 draft report). Engineers Australia (Hrsg.): Water Engineering. http://arr.ga.gov.au/__data/assets/pdf_file/0020/40574/ARR_Project_15_Subproject_report_buildings_final.pdf. Zugriff am 24.07.2018.

GDV (2014): Naturgefahrenreport 2014. Die Schaden-Chronik der deutschen Versicherer in Zahlen, Stimmen und Ereignissen. Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)

(Hrsg.). <https://www.gdv.de/resource/blob/20462/320abd98a62289a46d628c59b234f982/publication---naturgefahrenreport-2014-data.pdf>. Zugriff am 04.07.2018.

IPCC (2014): Climate change 2014. Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) (Hrsg.).

LAWA (2017): Empfehlungen für die Überprüfung der vorläufigen Bewertung des Hochwasserrisikos und der Risikogebiete nach EU-HWRM-RL. Karlsruhe. Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) (Hrsg.). http://www.lawa.de/documents/00_LAWA_Empfehlungen_vorl_Bewertung_HW_Risiko_a30.pdf. Zugriff am 24.07.2018.

van den Bout, B. & Jetten, V. G. (2018): The validity of flow approximations when simulating catchment-integrated flash floods. *Journal of Hydrology* 556: 674-688.

Entwicklung von Maßnahmen zur Gewässerentwicklung der Rodau in Rodgau unter Berücksichtigung besonderer Anforderungen



Veronika Schaefer-Brand

Studiengang Bauingenieurwesen

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Veranlassung und Zielsetzung

Die Masterarbeit drehte sich um den Interessenskonflikt zwischen Hochwasserschutz und Renaturierung im urbanen Raum. Konkret galt es zwischen den verschiedenen Akteuren in der Stadt Rodgau zu vermitteln, um gemeinsam eine nachhaltige Lösung für die Entwicklung des örtlichen Baches zu erarbeiten.

Die Rodau ist ein etwa 28 km langes Niederungsfließgewässer der Main-Ebene im südhessischen Kreis Offenbach. Große Teile des Baches durchfließen die Stadt Rodgau, wodurch das Gewässer im Laufe seiner Geschichte stark urban überprägt wurde.

Im Stadtteil Jügesheim wurde seit 2004 mit dem ersten Abschnitt der geplanten Renaturierungsmaßnahmen im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie begonnen. Dort haben sich nach der über zehn Jahre zurückliegenden Renaturierung und der lange minimierten Pflege, ein flaches Stillgewässer, der Finkensee, und gebietstypische Vernässung der Auen entwickelt. Dadurch entstand ein Biotop mit hoher ökologischer Wertigkeit.

Durch dieses entstandene Feuchtgebiet verläuft der Abwasserhauptsammler Rodgaus in Richtung Kläranlage Weißkirchen. Aufgrund der Veränderungen des Wasserhaushalts im Feuchtgebiet ist der Kanal stellenweise permanent überstaut, wofür dieser nicht ausgelegt wurde. Des Weiteren ist die Zugänglichkeit der Schächte für Wartungszwecke stark eingeschränkt. Gleichzeitig sorgen die verringerten Fließgeschwindigkeiten der Rodau zu Sedimentablagerungen. Mit einhergehender Sohlenerhebung werden die Mischwasserentlastungseinleitungen der städtischen Kanalisation verlegt (Abbildung 56).

Der Nutzungskonflikt, welcher durch die verschiedenen Anforderungen an das Gewässer entstand, sollte gelöst werden. Aufbauend auf den von UNGER Ingenieure durchgeführten Untersuchungen sollten weiterführende Lösungsansätze konzipiert werden.

Methodik

Mittels intensiver Situations- und Gebietsanalyse wurden Probleme, Ursachen und Folgen, sowie deren Zusammenhänge im Gebiet festgestellt. Darauf aufbauend folgten die Erstellung des Leitbildes und eine Defizitanalyse. Um alle Anforderungen an das Gebiet berücksichtigen zu können wurden im Rahmen der Restriktionsanalyse die beteiligten Akteure interviewt und so ein umfangreiches Zielsystem und zugehörige Bewertungsmatrix erstellt. Aus dem zusammengetragenen Wissen entstanden vier Lösungskonzepte. Zwei dieser Konzepte wurden anschließend in einem Sachstandsgespräch den Beteiligten vorgestellt und diskutiert.

Ergebnisse

Die hohe Dichte an Mischwasserentlastungen und die sehr geringe Verdünnung der Kläranageneinläufe sind prägend, sodass die mangelnde Wasserqualität nicht überraschte. Des Weiteren sind die mangelnden hydraulischen Bedingungen, gerade im Sommer hervorzuheben, wodurch das Gebiet für Fische nur temporär durchwanderbar ist. Die Kernerkenntnisse aus den Daten waren fehlender Kies und eine überhöhte Sandfracht, sowie fehlende Sohlstrukturen. Trotz verbesserter Besiedlungsbedingungen ist das Artenspektrum fast unverändert und es existiert lediglich eine anspruchslose Rumpffischfauna.

Positiv hervorzuheben ist, dass aufgrund der minimierten Wartung die Rodau sich entsprechend des Gewässertyps 19, mit Mehrbettgerinnen, dynamischen Stillwasserzonen und Laufverlagerungen, entwickelt hat. Da der Abschnitt sich jedoch in einer Stadt befindet, sind neben den ökologischen und ökonomischen Aspekten, die sozio-kulturellen Aspekte zu berücksichtigen. Daraus ergibt sich das Zielsystem, dessen Oberpunkte in Abbildung 57 dargestellt sind.

Bei der Erarbeitung der Lösungskonzepte wurden jeweils möglichst viele der oben zusammengetragenen Ziele integriert. Die zwei bevorzugten Varianten sehen grundsätzlich die Erweiterung der Uferlandstreifen entlang der gesamten Rodau vor. Diese können den Sediment- und Stoffeintrag reduzieren und der Entwicklungsraum kann vergrößert werden. In beiden Varianten ist eine Umgestaltung des Fließweges auf Grundlage der durchgeführten Drohnenüberfliegung angedacht, sodass die alte Rinne als Flutmulde für größere Regenfälle zur Verfügung steht, um weitere Ausuferungen zu minimieren. Die Einleitwerte der Mischwasserentlastungen müssen geprüft werden, sowie über eine zukünftige Aufrüstung der Kläranlagen mit einer vierten Reinigungsstufe nachgedacht werden. Wurzelstöcke, andere Totholzmaßnahmen und das Belassen von Holz im Gewässer sollen die Strukturdiversität erhöhen. Damit diese an Engstellen keine Verkläusungsgefahr bedeuten, wurden entsprechende Grobrechen empfohlen.



Abbildung 56: Rodau vor E13a (Mai 2018)

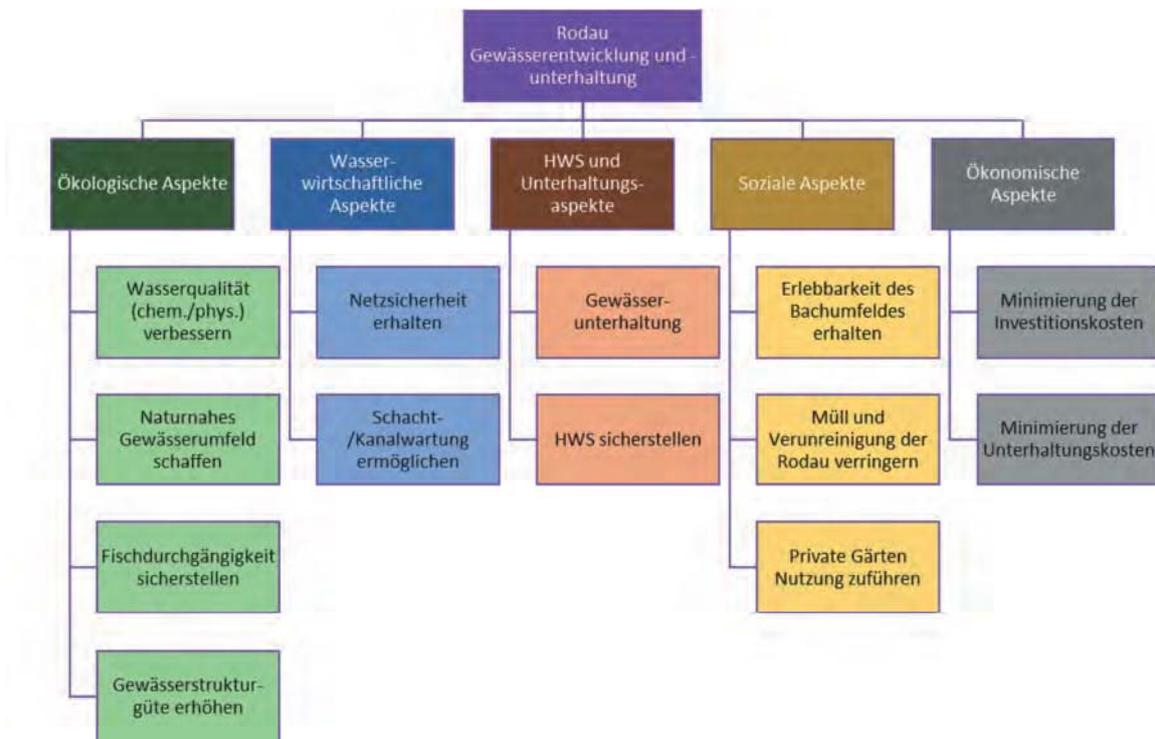


Abbildung 57: Zielsystem

Das Lösungskonzept 1 (Abbildung 58) sieht eine weitere Verlandung des Finkensees und um die Mischwassereinleitung E12 zu erhalten, eine Laufverlagerung unterhalb des Finkenwegs in das Feuchtgebiet vor. So kann der Wasserhaushalt erhalten werden. Dabei soll auf bereits bestehende Fließwege zurückgegriffen werden. Die Schächte sollen mittels Wegen von der Seite wieder erreichbar gemacht werden.

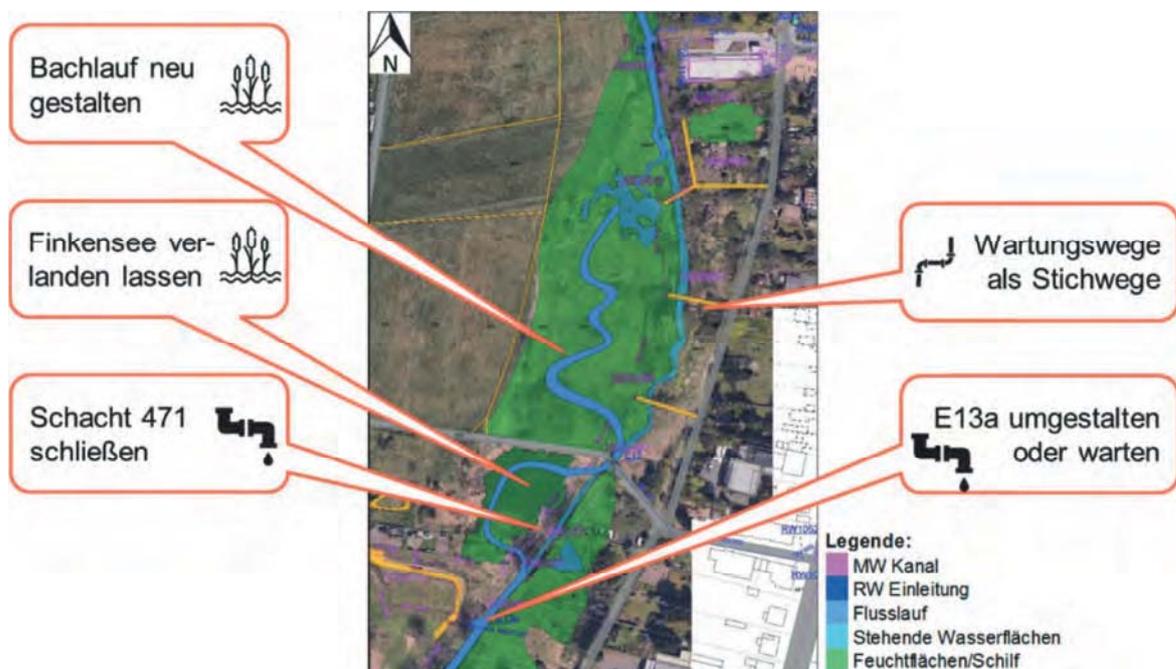


Abbildung 58: Lösungskonzept 1 (Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, Siedlungswasserwirtschaftliche Daten von Herr Wasserek, Hintergrund aus GoogleMaps.com)

Das Lösungskonzept 2 (Abbildung 59) erhält den zufällig entstandenen Finkensee durch regelmäßige Wartung. Der Effekt ist ein natürlicher Sandfang. Das Problem des überstauten Abwasserkanals wird mittels räumlicher Trennung entschärft. Dafür wird der Bachlauf in den 2016 als Hauptfließweg vermuteten westlichen Teil des Feuchtgebiets verlegt. Somit kann ein Wegstrang entlang der Schächte errichtet werden, ohne den Feuchtehaushalt des Gebiets zu beeinträchtigen. Ob dieser Weg auch als Biotop-Lehrpfad für Anwohner gestaltet wird kann überlegt werden. Vor der Einleitung E13a soll eine Dreiecksbuhne mittels Einschnürung die Sedimentation verringern.

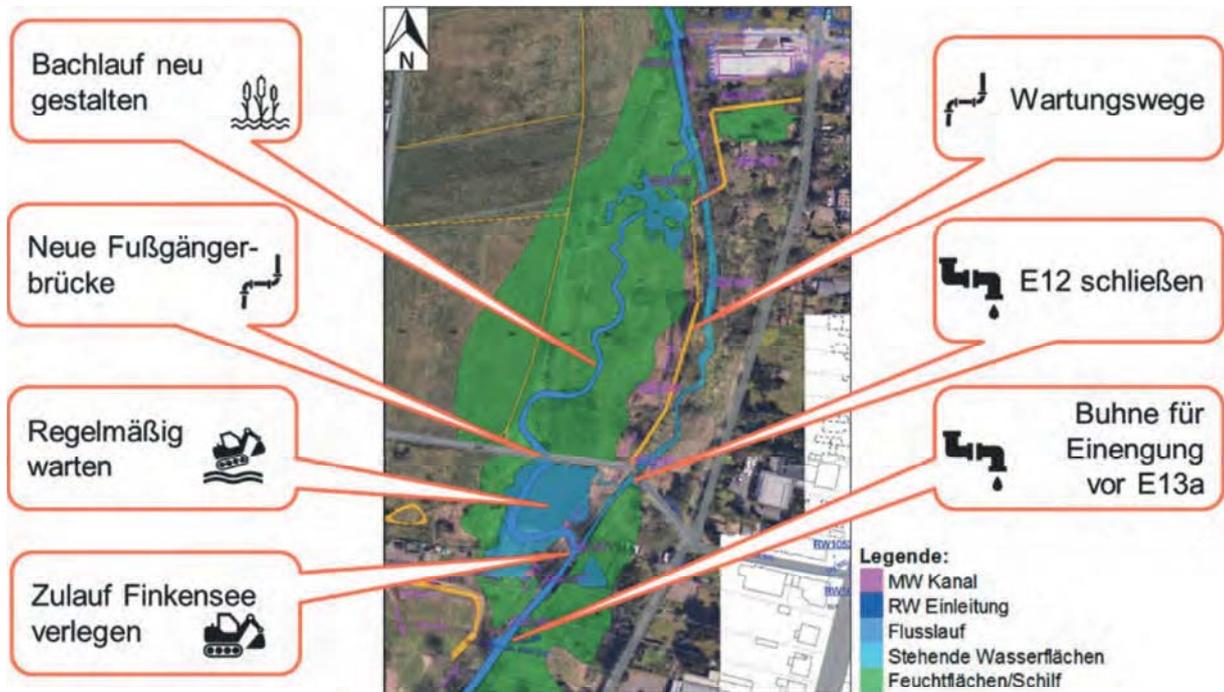


Abbildung 59: Lösungskonzept 2 (Datengrundlage: Hessische Verwaltung für Bodenmanagement und Geoinformation, Siedlungswasserwirtschaftliche Daten von Herr Wasserek, Hintergrund aus GoogleMaps.com)

Fazit

Eine Kombination aus beiden Varianten kann anhand der erarbeiteten Matrix zusammengestellt werden, welche die Kombinierbarkeit der Maßnahmen aufzeigt und als „Baukasten“ für die Entscheidungsträger dient. Für die weitere Planung müssen die entsprechenden Datenlücken geschlossen werden und die Ursachen des Sedimenteintrags untersucht werden. Die Maßnahmen können sich dabei nicht allein auf das Gebiet beschränken.

Die hier vorherrschenden komplexen Probleme können als Fallbeispiel vieler Fließgewässer im urbanen Raum dienen, deshalb ist ein grundsätzliches Umdenken bei der Bachbewirtschaftung dringend erforderlich. Die Entwicklung eines langfristig nachhaltigen Konzepts muss daher immer interdisziplinär erarbeitet werden.

Entwicklung eines effizienten hochauflösenden Verfahrens zur Berechnung von Überflutungsflächen

Sebastian Stickel

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik



Veranlassung und Zielsetzung

Nahezu jedes ingenieurtechnische Betätigungsfeld, das sich mit Strömungsphänomenen befasst, ist heute auf die Simulation als zentrales Instrument angewiesen. Die Anforderungen an dieses Werkzeug steigen dabei beständig – Probleme sollen detaillierter, in immer höherer Auflösung, und dabei kürzerer Zeit gelöst werden. Diesem Anspruch kann nur eine integrale Lösung aus leistungsfähiger Computer-Hardware und maßgeschneiderter Software-Architektur gerecht werden.

Der erste Faktor, die verfügbare Hardware, befindet sich in fortlaufendem Wandel. Im Jahres- oder sogar Monatsturnus bringt der Sektor leistungsfähigere Generationen von Komponenten hervor, die gleichzeitig durch sinkende Produktionskosten sogar für Privatanwender erschwinglich werden. Andererseits zeichnet sich bei den komplementären Softwarelösungen eine gewisse Stagnation ab. Sie basieren seit Jahren auf denselben grundlegenden Ansätzen und reagieren oft verspätet und nur mit Einschränkungen auf die aktuelle technologische Entwicklung.

So verhält es sich etwa mit der für die Simulation genutzten Recheneinheit. Traditionell kommt hierfür in Endanwender-PCs die Zentrale Recheneinheit oder CPU zum Einsatz. Sie bedient das Gros der Anwendungsfälle im Computer-Alltag, ist flexibel, zugänglich und dadurch relativ einfach und schnell in der Programmierung nutzbar – aber nicht für die Lösung komplexer, hochparalleler Probleme wie der Fluidsimulation ausgelegt. Sie erledigt den Job, allerdings nicht mit der Performance, die nach aktuellem Stand der Technik möglich wäre.

Grund hierfür ist nicht etwa die mangelhafte Umsetzung eines Lösungsalgorithmus oder die Nutzung einer „langsamen“ Programmier- und Laufzeitumgebung. Vielmehr wird auf das sprichwörtliche falsche Pferd gesetzt. Denn vernachlässigt wird bei der Entwicklung häufig eine Technologie, die so verbreitet ist, dass sie mittlerweile in jeder Videospielekonsole und den meisten spieletauglichen Heimcomputern verbaut ist – die grafische Recheneinheit, auch Grafikkarte oder GPU.

Diese leistungsfähigen Komponenten sind durch ihre Funktion inhärent für hochparallele Rechenoperationen optimiert. Dienten sie ursprünglich noch der reinen Aktualisierung und Darstellung mehrerer Millionen Bildschirmpixel, lassen sich die Rechenkerne heute für generische Aufgaben und beliebige Berechnungen nutzen – somit also auch für die Simulation besagter Strömungsphänomene.

Was theoretisch einleuchtet und einen enormen Performancezuwachs verspricht, erweist sich in der Praxis als komplexe Aufgabe der Softwareentwicklung. Die Einbindung der GPU als Ziel-Recheneinheit erfordert gegenüber der CPU ein hohes Maß hardwarenahen, spezifischen Codes sowie die Überwindung vieler bekannter Paradigmen aus der konventionellen, objektorientierten Programmierung.

Somit galt es, im begrenzten Zeitraum der Thesis ein lauffähiges Simulationstool zu entwickeln, welches durch Hardwarebeschleunigung sehr hoch aufgelöste Überflutungsszenarien mit bisher unerreichter Geschwindigkeit berechnet.

Methodik

Es wurden verschiedene Ansätze der Entwicklung eines GPU-beschleunigten Solvers untersucht, darunter die prototypische Implementierung paralleler Lösungsalgorithmen in der Scriptsprache Python unter Einbindung der CUDA-Schnittstelle für Grafikeinheiten.

Für die finale Umsetzung einer Softwarelösung fiel die Wahl auf die Unity Engine (Abbildung 60). Hierbei handelt es sich um eine so genannte Game Engine, eine Entwicklungs- und Laufzeitumgebung für Echtzeit-Anwendungen wie Videospiele und zunehmend auch wissenschaftliche Modelle. Durch ihre integrale Verflechtung mit zwei- und dreidimensionaler grafischer Darstellung verfügen derartige Programmierumgebungen über umfangreiche Werkzeuge und Schnittstellen zum direkten Zugriff auf grafische Recheneinheiten.

Dies ermöglicht einerseits die vollständige Auslagerung des parallelisierten Rechenkern-Codes einer Simulationsroutine auf die GPU für die Maximierung der Rechengeschwindigkeit. Zusätzlich bietet sich der entscheidende Vorteil, ohne Performanceverlust jederzeit auf die Zwischenergebnisse der Berechnung zugreifen zu können. In den meisten verbreiteten Softwarelösungen lassen sich Resultate lediglich intervallweise oder nach Abschluss eines Rechenlaufes ausgeben und analysieren. Über die Nutzung einer GPU-gestützten Grafikeine kann das Ergebnis eines jeden simulierten Zeitschrittes dagegen in Echtzeit visualisiert und ausgewertet werden. Auf diese Weise wird noch zur Laufzeit die Kalibrierung der Modellparameter für eine optimale Rechenleistung und Qualität der Ergebnisse ermöglicht.



Abbildung 60: Unity Logo
© 2018 Unity Technologies

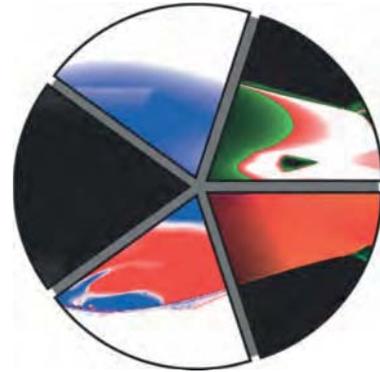


Abbildung 61: Auswahl analytischer Visualisierungsstile

Ergebnisse

Im Rahmen der Masterthesis wurde in über 25.000 Codezeilen eine vollwertige Softwarelösung und Simulations-Suite realisiert, die eine Modellierung, Berechnung, Echtzeit-Visualisierung und Auswertung sowohl diverser Testszenarien als auch realer Anwendungsfälle ermöglicht.

Über eine dynamische grafische Nutzeroberfläche (UI) lassen sich digitale Geobasisdaten (ASCII/binär) und verortete Reibungskoeffizienten einlesen. Anfangs- sowie Randbedingungen können definiert, Modellparameter während eines Rechenlaufes in Echtzeit kalibriert und das Erreichen eines quasistationären Resultates in fünf verschiedenen Visualisierungsstilen parallel zur Berechnung mitverfolgt werden.

Überdies können Rechenläufe pausiert, zwischengespeichert und zu einem beliebigen Zeitpunkt wieder aufgenommen werden, was nicht nur zu einem flexibleren Arbeitsablauf beiträgt, sondern auch die Grundlage für Variantenentwicklung und Szenarienbildung darstellt (Abbildung 61).

Fazit und Ausblick

Als reale Testszenarien wurden zwei Abschnitte der Nidda bei Frankfurt am Main mit einer Ausdehnung von 2,5 x 3,5 bzw. 5,0 x 12,0 Kilometern bei Normalabfluss und im Hochwasserfall (HQ₁₀₀) herangezogen (Abbildung 62). Simuliert wurde bei der vollen 1 Meter-Auflösung der Rasterrohdaten (ATKIS DGM 1). Hierfür konnte mit Gaming-Hardware (Stand 2014) eine Rechengeschwindigkeit von über 3-facher Echtzeit erzielt werden – dies entspricht einem Faktor von bis zu 100 gegenüber konventionellen CPU-gestützten Solvern. Durch die ausgezeichnete Rechenleistung des hochparallelen, hardwarebeschleunigten Verfahrens gepaart mit den vergleichsweise geringen Anschaffungskosten

moderner Grafikeinheiten eignet sich die Technologie ideal für den Einsatz in der Hochwasservorhersage und Erstellung von Gefahrenkarten (Abbildung 63). Kleine und mittelständische Ingenieurbüros profitieren von dem erleichterten Workflow bei der Nutzung von Raster-(roh)-daten gegenüber vergrößerten Triangulationen. Der sehr arbeitsintensive und fehleranfällige Schritt der Netzgenerierung und -nachbearbeitung entfällt. Gleichzeitig steigt potentiell die Ergebnisqualität durch eine signifikante Steigerung der Auflösung in den Eingangsdaten.

Die einfache grafische Nutzeroberfläche mit integraler Echtzeit-Visualisierung des Rechenlaufes trägt zur Transparenz des Verfahrens bei und bietet dem Anwender vielfältige Steuerungs- und Optimierungsoptionen. Die steile Lernkurve bei der Aneignung komplexer Kommandozeilen-Befehle und kryptischer Steuerdateien gehört damit der Vergangenheit an.

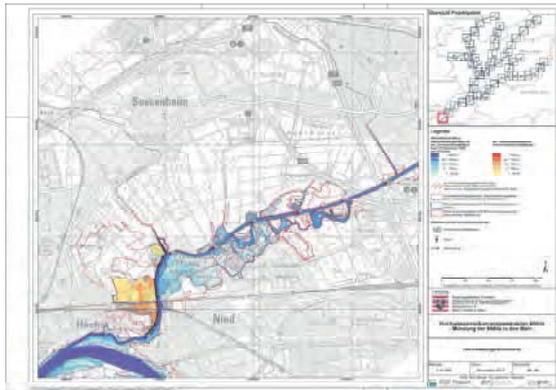


Abbildung 62: Hochwassergefahrenkarten Nidda G-01; Stand 2015; Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie



Abbildung 63: Ergebnisse für Kartengebiet aus neuem Solver; DGM 1, $\Delta x=1m$

Experimentelle Untersuchungen von Hochwasserentlastungsanlagen mit Sprungschanze

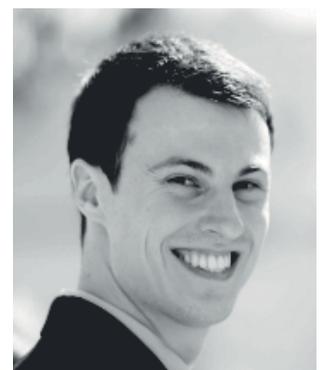
Fabian Popp

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Veranlassung und Zielsetzung

Zur Bereitstellung erneuerbarer Energie, aber auch für die Trinkwassergewinnung, den Hochwasserschutz, die Schiffbarmachung und weitere Nutzungsanforderungen wurden und werden weltweit Talsperren in verschiedenen Größen und Bauweisen errichtet. Das Aufstauen großer Wassermengen birgt jedoch auch ein hohes Gefährdungspotential. Talsperren verfügen deshalb über eine Vielzahl von Überwachungs- und Sicherheitssystemen. Eine bedeutende Komponente dieser Systeme bilden Hochwasserentlastungsanlagen. Sie gewährleisten die ständige Einhaltung des maximalen Stauziels durch die kontrollierte Abgabe von überschüssigem Wasser an das Unterwasser und können in verschiedensten Ausführungen realisiert werden. (vgl. Köngeter et al. 2013)



In engen Talräumen und bei großen Fallhöhen kommen häufig Hochwasserentlastungsanlagen mit Sprungschanze zum Einsatz. Diese erzeugen aus dem Hochwasserabfluss einen Freistrah, der in einiger Entfernung zur Entlastungsanlage auf das Unterwasser auftrifft. Dabei kommt es in der Regel zu einer ausgeprägten Erosion der Flusssohle, die eine Kolkbildung und damit eine potentielle Gefährdung der Sicherheit umliegender Bauwerke zur Folge hat. (vgl. Khatsuria, 2005, S. 442-443) Für die Optimierung des Designs, der Ausrichtung und der Lage solcher Entlastungsanlagen ist es daher von großer Bedeutung, bereits vor der realmaßstäblichen Umsetzung maßgebende Einflussfaktoren zu benennen und das Ausmaß der zu erwartenden Erosion abzuschätzen. Da die bei der Kolkbildung auftretenden Prozesse aufgrund der Wechselwirkungen innerhalb des Mehrphasensystems Wasser-Luft-Sediment sehr komplex sind, kommen zu diesem Zweck oft physikalische Modelle zum Einsatz. Ziel der nachfolgend vorgestellten Master-Thesis ist es den Betrieb, die Auswertung und die Optimierung derartiger Modelle zu untersuchen. Die durchgeführten Untersuchungen lassen sich in folgende vier Themenschwerpunkte untergliedern:

- 1) Durchführung und Auswertung von Variantenstudien zu zwei realen Entlastungsanlagen.
- 2) Durchführung und Auswertung weiterer projektunabhängiger Untersuchungen zur Kolkbildung.
- 3) Validierung und Optimierung des Modellbetriebs.
- 4) Untersuchung theoretischer Ansätze bzgl. ihrer Eignung zur Abschätzung von Kolkparametern.

Methodik

Konkreter Untersuchungsgegenstand der Arbeit sind drei physikalische Modelle von Hochwasserentlastungsanlagen mit Sprungschanze im Wasserbaulichen Forschungslabor (WBFL) der TU Darmstadt (Abbildung 64). Die Modelle wurden als nicht überhöhte Froude-Modelle im Maßstab 1:51,25 bzw. 1:72,7 ausgeführt und im untersuchungsrelevanten Bereich jeweils mit einer beweglichen Sohle ausgestattet. Bei zwei Modellen (A1 u. A2) handelt es sich um Flächenmodelle, die für die projektbezogenen Untersuchungen von realen, sich zum Zeitpunkt der Thesis in der Planungsphase befindenden Entlastungsanlagen zum Einsatz kamen. Das dritte Modell wurde ergänzend als projektunabhängiges Modell in einer Versuchsrinne errichtet und für weiterführende Untersuchungen im Rahmen der Themenschwerpunkte 2 bis 4 herangezogen. Im Zuge der Versuchsdurchführung fand eine Aufzeichnung der Durchflüsse, Wassertiefen, Strahlwurfweiten und Strahlbreiten sowie Kolkiefen statt.

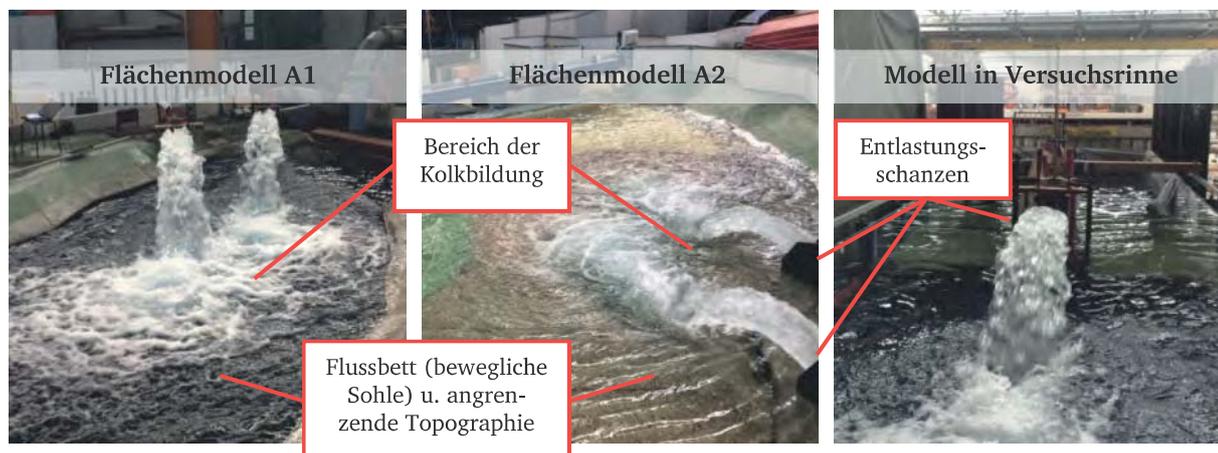


Abbildung 64: Untersuchte Modelle (v.l.n.r. zwei Flächenmodelle u. Modell in Versuchsrinne)

Ergebnisse

Bei den Versuchen zu **Themenschwerpunkt 1** wurden für die Flächenmodelle (A1 u. A2) verschiedene Schanzens untersucht. Hauptaugenmerk lag dabei auf der Entwicklung einer Schanzengeometrie, die die Erosion sowie andere negative Einflüsse im Unterwasserbereich minimiert. Beurteilt wurde die Eignung der verschiedenen Schanzensformen anhand von Kriterien wie der maximalen Kolktiefe, der Erosion der Ufer sowie der Einengung des Fließquerschnittes durch das aufgeschobene Sediment.

Tabelle 5: Optimierungsschritte der Schanzegeometrie (Modell A1)

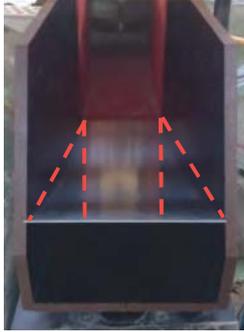
Schanze 1	Schanze 2 / \	Schanze 3 \
		
<ul style="list-style-type: none"> → kompakter Strahl → ausgeprägte Tiefenerosion → große Kolkiefen 	<ul style="list-style-type: none"> → beidseitig aufgeweiteter Strahl → deutlich geringere Kolkiefen → starke Ufererosion 	<ul style="list-style-type: none"> → einseitig aufgeweiteter Strahl → mittlere Kolkiefen → mäßige Ufererosion

Tabelle 5 stellt beispielhaft die drei in der abschließenden Phase der Variantenstudie am Modell A1 untersuchten Schanzenformen dar. Nachteil von Schanzenform 1 ist der sehr kompakte Strahl, der im Unterwasser zu einer stark ausgeprägten Tiefenerosion führt. Um diese zu verringern wurde Schanzenform 2 entwickelt, deren Seitenwände nach den Vorgaben des USBR (2014, S. 3-83) beidseitig um $4,36^\circ$ aufgeweitet wurden. Die Breite der Schanzenlippe konnte so um über 40 % erhöht werden, was eine mittlere Verringerung der Kolkiefe von ca. 20 % zur Folge hatte. Durch die starke Aufweitung der Strahlen war bei den Versuchen mit Schanzenform 2 jedoch eine deutlich verstärkte Ufererosion zu verzeichnen. Als Kompromiss wurde Schanzenform 3 entwickelt. Diese verfügt lediglich auf einer Seite über eine Aufweitung. Auf diese Weise konnten im Vergleich zu Schanzenform 1 weiterhin um bis zu 10 % verringerte Kolkiefen erreicht werden. Gleichzeitig wurde die Erosion der Uferbereiche im Vergleich zu Schanzenform 2 auf ein akzeptables Maß reduziert. Eine ähnliche Variantenstudie wurde für das Modell A2 durchgeführt. Vor der dargestellten Optimierung der Schanzenform, wurden für beide Modelle, im Rahmen verschiedener Voruntersuchungen, bereits die geometrischen Schanzenparameter wie der Radius, der Winkel und die Lippenhöhe sowie die Neigung und die horizontale Drehung der Schanzen experimentell angepasst.

Im Rahmen von **Themenschwerpunkt 2** wurden mithilfe des Modells in der Versuchsrinne weiterführende Untersuchungen zur Kolkbildung durchgeführt. Dabei fanden unter anderem Untersuchungen zum Einfluss variierender Unterwasserstände auf die Tiefenerosion statt. Zu diesem Zweck wurde die Versuchsrinne im Rahmen mehrerer Teilversuche zwischen 10 und 30 cm tief eingestaut. Auf diese Weise konnte nachgewiesen werden, dass der Unterwasserstand einen elementaren Einfluss auf die Kolkparameter hat. Demnach führt eine zunehmende Wasserüberdeckung zu einer deutlich abnehmenden Tiefenerosion. Auch die Kolklänge und die Kolkbreite verringern sich bei einer Zunahme der Wassertiefe deutlich.

Themenschwerpunkt 3 hatte die Validierung und Optimierung des Modellbetriebs zum Ziel. Um die Ergebnisse der Untersuchungen an den Flächenmodellen vergleichen zu können, wurde für alle Versuche eine Dauer von zwei Stunden gewählt. Grundlage für die Wahl der Versuchsdauer war die Annahme, dass die Kolke nach diesem Zeitraum ihre maximale Tiefe erreicht haben und so der größtmögliche zu erwartende Schadensfall abgebildet werden kann. Um diese für die Belastbarkeit der Modelluntersuchungen fundamentale Annahme zu validieren, wurde am Modell in der Versuchsrinne eine eigene Versuchsreihe durchgeführt. Durch die Auswertung verschieden langer Entlastungsversuche konnte nachgewiesen werden, dass die Kolkiefe nach zwei Stunden durchflussunabhängig tat-

sächlich nahezu ihren maximalen Wert erreicht. Demnach kann die gewählte Versuchsdauer als ausreichend bestätigt werden. Das zweite Ziel von Themenschwerpunkt 3 bestand in der Optimierung des Modellbetriebs. Als möglicher Ansatzpunkt wurde unter anderem die Vorgehensweise bei der Erfassung der Kolkgeometrie identifiziert. Anstatt wie bisher Höhenlinien entlang des stufenweise abgesenkten Wasserspiegels auszulegen und diese anschließend mittels Nivellement zu vermessen, stellen die Photogrammetrie oder der Einsatz von Laser-Scanner vielversprechende Verfahren für den zukünftigen Modellbetrieb dar. Von Vorteil sind dabei insbesondere der geringe Zeitaufwand sowie die Möglichkeit die Kolkgeometrie vollumfänglich zu digitalisieren, um diese anschließend weiter auszuwerten. Dem gegenüber stehen die hohen Kosten für die notwendigen Messgeräte bzw. die Softwarelizenzen.

Im Zuge von **Themenschwerpunkt 4** wurden Ansätze zur rechnerischen Abschätzung der Kolktiefe sowie der Kolllänge, der Kolkbreite und dem Abstand zwischen der Schanzenlippe und dem Kolk tiefpunkt untersucht. Ziel war es, die Ergebnisse der Berechnungsansätze bezüglich ihrer Übereinstimmung mit den gemessenen Werten zu vergleichen und so die Güte der untersuchten Formeln zu beurteilen. Die Untersuchungen zeigen, dass einige Berechnungsansätze durchweg zu sehr großen Abweichungen von den Messwerten führen (bis zu 400 %). Andere Ansätze liefern zumindest für bestimmte Kombinationen von Randbedingungen Ergebnisse mit einer akzeptablen Übereinstimmung mit den Messwerten. Insgesamt ist bezüglich der theoretischen Berechnungsansätze festzuhalten, dass alle Kolkparameter zumindest überschlägig rechnerisch abgeschätzt werden können. Für eine finale Anlagenauslegung sowie eine realistische Abschätzung der zu erwartenden Auswirkungen im Unterwasser liefern die untersuchten Ansätze jedoch in keinem Fall ausreichend genaue Ergebnisse.

Fazit und Ausblick

Die Arbeit unterstreicht die große Bedeutung von physikalischen Modellversuchen für die Planung und Optimierung von Hochwasserentlastungsanlagen mit Sprungschanze. Sowohl theoretische Berechnungsansätze als auch bestehende Bemessungsempfehlungen, die sich in der Regel lediglich auf die geometrische Auslegung der Schanzen konzentrieren, können für den abschließenden Planungs- und Optimierungsprozess keine ausreichend präzisen Ergebnisse liefern. Deshalb ist es auch in Zukunft von großer Bedeutung, das Know-how in der Gestaltung und dem Umgang mit physikalischen Modellen zur Untersuchung von Kolkbildungsprozessen weiter auszubauen. Weiterer Forschungsbedarf besteht dabei insbesondere bei der Auswahl eines geeigneten Modellsediments sowie der Beeinflussung der Ergebnisse durch Skalierungseffekte, die beispielsweise beim Lufteintrag auftreten.

Literatur

Khatsuria, R. M. (2005). *Hydraulics of Spillways and Energy Dissipators*.

Köngeter, J., Heimerl, S., Kohler, B., Ebert, M., & Libisch, C. (2013). *Talsperren in Deutschland*. (D. T. e.V., Hrsg.) Dresden / Aachen / Stuttgart.

United States Department of the Interior Bureau of Reclamation (USBR). (August 2014). *Appurtenant Structures for Dams (Spillways and Outlet Works) Design Standard - Chapter 3: General Spillway Design Considerations*.

Ethohydraulische Modellierung eines Flachrechens und Evaluation anhand realer Fischversuche

Katrin Heid

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik



Veranlassung und Zielsetzung

Die in der Wasserrahmenrichtlinie explizit geforderte ökologische Durchgängigkeit der Gewässer ist durch eine Vielzahl an Querbauwerken nicht gegeben. Fischauf- und Abstiegsanlagen sind daher zur Gewährleistung der Durchgängigkeit essentiell. Die Funktionsfähigkeit solcher Anlagen wird mittels Verhaltensbeobachtungen, der Identifizierung wichtiger hydraulischer Parameter und anschließender numerischer Simulation sichergestellt. Im Vergleich zum Aufstieg herrscht beim Fischabstieg jedoch ein deutliches Wissensdefizit hinsichtlich des von Turbulenz und Strömungssignatur geprägten Wanderverhaltens der Tiere. Fische folgen bei der Abwanderung meist einer Hauptströmung, welche vorwiegend in Turbineneinläufe führt.

Im Rahmen eines durch das Bundesamt für Naturschutz geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekts fanden im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt Untersuchungen über die hydraulischen Bedingungen für eine erfolgreiche Abwanderung bei Fischabstiegsanlagen mittels Bypasssystem an einer Wasserkraftanlage statt. Der Bypass wird dabei von einem Flachrechen mit anschließender Abspülrinne gebildet (Abbildung 65).

Ziel der Arbeit waren Untersuchungen, inwieweit mittels ethohydraulischer Modellierung das Verhalten von Fischen in turbulenten Bereichen von Fischabstiegsanlagen prognostizierbar ist. Die anhand der Modellierung erarbeiteten Prognosen konnten anschließend mit einem Auszug der Lebendtierversuche des laufenden FuE-Projekts verglichen werden. Anhand der Evaluation der Ergebnisse sollten letztendlich Empfehlungen für möglichst verlässliche ethohydraulische Modellierungen und deren Grenzen getroffen werden. Die für die Arbeit verwendeten Messdaten und -raster, hydraulischen Einstellungen der Laborversuche und das Videomaterial der Lebendtierversuche wurden vom FuE-Projekt bezogen.



Abbildung 65: Bypass-System

Methodik und Ergebnisse

Für die Verhaltensbeurteilung von Fischen ist die Auseinandersetzung mit deren Wahrnehmung und anschließender Reaktion essentiell, um diese auf vorhandene Strömungssignaturen zurückführen zu können. Als verhaltensbeeinflussende Turbulenzkenngrößen wurden turbulente kinetische Energie (TKE), Turbulenzintensität (TI), Geschwindigkeits- und Stromlinienverläufe, Scherspannung (τ), Wirbel bzw. Walzen, Vorticity (Drehrichtung) und das Q-Kriterium (Q_{Krit}) betrachtet, welches in numerischen Simulationen das Vorhandensein von Wirbeln und Scherung angibt.

Der numerische Modellaufbau orientiert sich hinsichtlich der Geometrie am Labormodell des Versuchsstands (Abbildung 66).

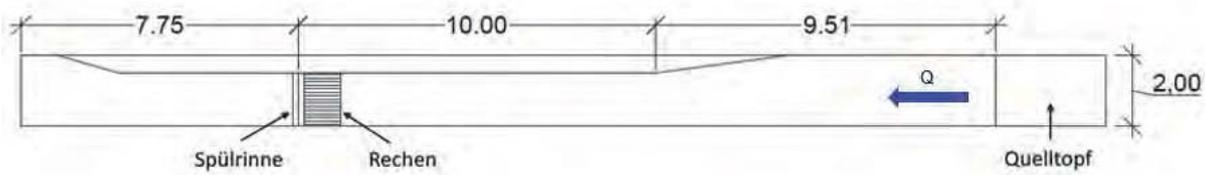


Abbildung 66: Modellaufbau des Versuchsstands mit Bypasssystem in der Draufsicht (Angaben in m)

Das erzeugte dreidimensionale hydrodynamisch-numerische Strömungsmodell nutzte den RANS-Ansatz für die Berechnung und RNG als Turbulenzmodell. Vorteilhaft ist unter anderem die genaue Berechnung besonders geringer Turbulenzintensitäten. Die Modellkalibrierung erfolgte anhand der gemessenen Punktgeschwindigkeiten und Randbedingungen der hydraulischen Setups. Ein Vergleich der lokalen Geschwindigkeitsmessungen im Labormodell mit den numerischen Geschwindigkeitsdaten der Simulation zeigte eine gute Übereinstimmung, wobei geringfügige Abweichungen auf Messungenauigkeiten und Zuflussschwankungen zurückzuführen sind.

Insgesamt wurden sechs Simulationen, mit variierenden Überströmungshöhen ($h_{\bar{u}}$) der Rechenoberkante für zwei Probandengruppen (Aal- und potamodrome Gemischtartenstaffel) ausgewertet. $h_{\bar{u}}$ besitzt dabei einen signifikanten Einfluss auf die Strömungssignatur. Die Verhaltensprognosen wurden nach Auswertung aller wesentlichen Parameter der numerischen Simulation sowie einem Vergleich der Modellierungswerte mit den Richtwerten für Aufstiegsanlagen getroffen, da keine Daten für den Abstieg vorlagen.

Aufgrund der geringen Werte der Parameter τ und TKE waren auf Basis der 3D-HN-Modellierung keine Verhaltensbeeinflussungen zu erwarten. Die x - und z -Vorticity unterschieden sich in ihrer Drehrichtung und Ausprägung entlang der Rinnenwände. Die Werte sind jedoch zu gering, als dass die Bevorzugung einer Rinnenseite abgeleitet werden könnte. Stabilitätsprobleme für Fische sind hauptsächlich am Bypasssystem zu erwarten, worauf die Kennwerte TI , Q_{krit} sowie die Walzen- und Wirbelstruktur der Stromlinien hinweisen (Abbildung 67 und Abbildung 68). Anhand der Ergebnisse der Kennwerte und den daraus resultierenden Verhaltensprognosen wurden Reaktionsräume im Versuchsstand abgegrenzt.

Für die Auswertung der Lebendtierversuche standen Videoaufzeichnungen vom Bypasssystem zur Verfügung. Mit Hilfe von definierten Ereignissen, wie etwa Sondierung der Rechenoberfläche, Anschwimmen des Rechens und gelungenen Abwanderungen, war eine zahlenbasierte Auswertung möglich. Zudem wurden Körperhaltung, Schwarmverhalten, Rotationen auf der Rechenoberfläche und Einfluss von Wirbeln entlang des Rechens betrachtet.

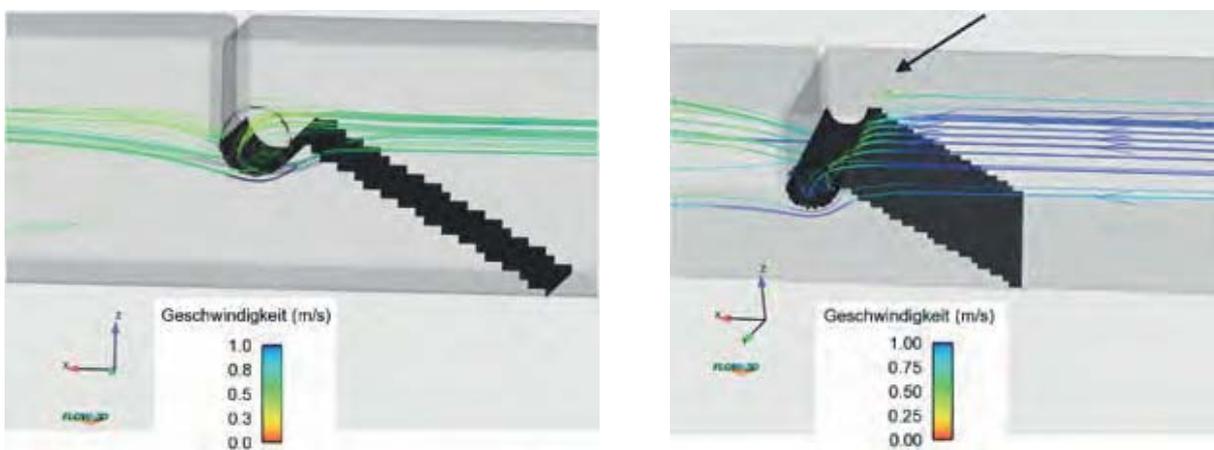


Abbildung 67: Links: Wirbel an der Rechenoberkante ($v = 0,9 \text{ m/s}$, $h_{\bar{u}} = 5 \text{ cm}$); rechts: Walze in der Spülrinne ($v = 0,8 \text{ m/s}$, $h_{\bar{u}} = 5 \text{ cm}$)

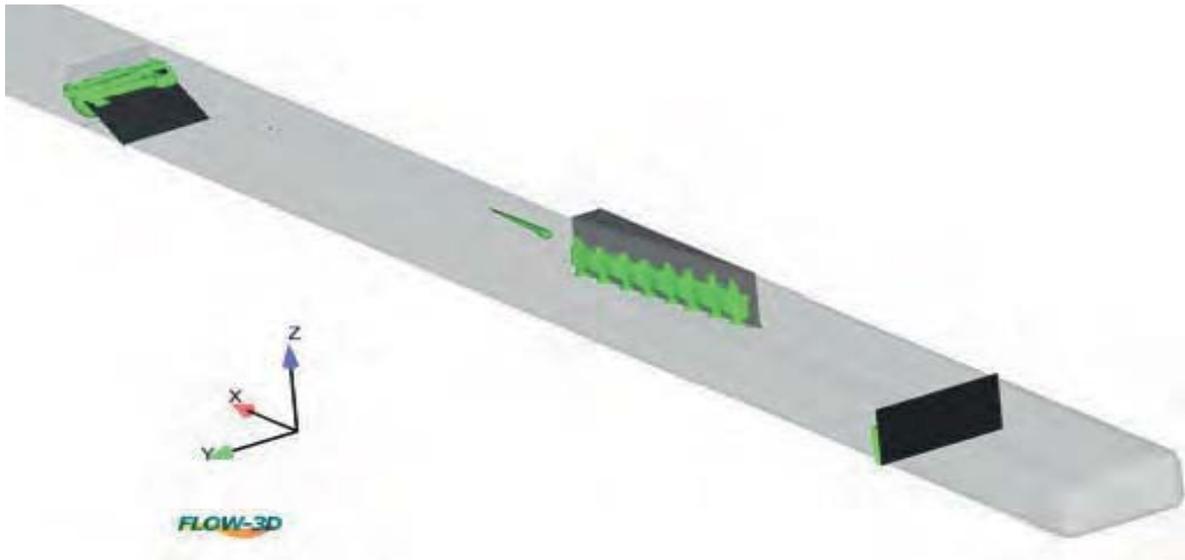


Abbildung 68: $Q_{krit} = -0,1 \text{ ms}^{-2}$, $v = 0,8 \text{ m/s}$, $h_{\bar{v}} = 5 \text{ cm}$

Die Gemischtartenstaffel zeigte eine hohe Aktivität. Mit zunehmender Überströmungshöhe häuften sich bei den Gemischtarten die Anzahl von Anschwimm-Ereignissen, Ein- und Austritten in die Spülrinne, Sondierungen der Rechenoberfläche und das Verweilen vor dem Rechen in größeren Gruppen. Einige Tiere gerieten auf der Rechenoberfläche in Rotation, oder wurden an die Rechenoberfläche gepresst (Impingement) und konnten sich nur schwer lösen. Die Flucht aus der Spülrinne war bei der maximalen Überströmungshöhe am häufigsten, während die Anzahl einer gelungenen Abwanderung bei Variation der Überströmungshöhe im Mittel gleich blieb. Die Aale sammelten sich überwiegend hinter dem Quelltopf an den lichtgeschützten Rinnenseiten und sondierten nur selten den Versuchstand. Gelungene Abwanderungen fanden unabhängig von der Überströmungshöhe hauptsächlich mit kurzem Aufenthalt vor dem Rechen, direkt nach dem Einsetzen in die Rinne statt.

Auswertung und Evaluation

Entscheidend für eine gelungene Abwanderung war neben der Überströmungshöhe das Durchflussvolumen der Bypass-Regulierung, da dieses die Wellenausprägung maßgeblich beeinflusste. Durch die niedrigen Werte von Scherspannung, TKE und Vorticity konnten dabei keine signifikante Verhaltensbeeinflussung abgeleitet werden. Da einige Fische am Rechen ihre Stabilität verloren, stellen TI und Q_{krit} mögliche Einflussfaktoren dar. Der TI-Wert lag in Bezug auf die Stabilität der Fische im kritischen Bereich. Entsprechend konnten wiederkehrende Stabilitätsprobleme beobachtet werden. Untersuchungen mit negativen Werten von Q_{krit} (Vorliegen von Scherung) lieferten eine geringere Anzahl an Sondierungsereignissen des Bypasssystems. Folglich hat sich Q_{krit} neben TI als maßgebender Parameter für mögliche Sondierungsbarrieren herausgestellt.

Fazit und Ausblick

Eine qualitative Verhaltensprognose auf alleiniger Basis eines dreidimensionalen hydrodynamisch-numerischen Strömungsmodells zu treffen war in diesem Zusammenhang nicht möglich, da keine Literaturwerte für den Fischabstieg vorhanden sind. Für die Minimierung dieser Wissensdefizite sollte die Datengrundlage künftig erweitert und zusätzliche Methoden, wie das Fish-Tracking zur Entschlüsselung verschiedener Präferenzen, herangezogen werden. Dadurch kann die Wahl der Rinnenseite während der Abwanderung, der Einfluss der Querströmung und der Vorticity bestimmt werden. Ebenso sind Simulationen mit anderen Turbulenzmodellen (DDES, ELAM) durchzuführen, welche gute Ergebnisse im Hinblick auf Bewegungsanalysen erzielten. Des Weiteren sind Ausmaß und Anwendbarkeit der Parameter TI und Q_{krit} im Zusammenhang mit solchen Untersuchungen zu prüfen. Die ausgewerteten Versuche stellen zudem lediglich eine Momentaufnahme dar, da Fische einer Vielzahl weiterer Einflüsse ausgesetzt sind. Eine Vielzahl an Wiederholungen ist für die Validierung der Verhaltensprognosen erforderlich.

Experimentelle und numerische Untersuchung eines Hochwasserentlastungsbauwerks mit Radialschütz, Sprungschanze und Strahleinfluss im Unterwasser

Mareike Zurmühl

Studiengang Umweltingenieurwissenschaften

M.Sc.-Thesis am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik



Die Tragsicherheit von Talsperren muss auch bei Extremhochwassern gewährleistet sein. Deshalb sind Hochwasserentlastungsanlagen unverzichtbare Bauwerke für die Sicherheit des Betriebs. Sie existieren in unterschiedlichen Ausführungen und müssen den individuellen Rahmenbedingungen angepasst werden. Aus diesem Grund kommt der sorgfältigen Bemessung von Hochwasserentlastungsanlagen große Bedeutung zu. Erstentwürfe basieren meist auf Berechnungsansätzen, welche aufgrund empirischer Grundlagen in Formelwerke übertragen wurden. Die auftretenden Strömungen sind jedoch hochkomplex. Für detaillierte Betrachtungen und für die Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Entwurfs, insbesondere für sicherheitsrelevante Bauwerkselemente, bedient man sich häufig physikalischer und/oder numerischer Modelle.

Für die Glaubwürdigkeit eines Modells ist einerseits entscheidend, welche Erfahrungen mit ähnlichen Modellen bereits vorliegen, andererseits, wie gut und zuverlässig sich Modelle an Naturdaten kalibrieren lassen. Während bereits jahrelang vielfältige Erfahrungen im Umgang mit physikalischen Modellen existieren, ist die Verwendung numerischer Modelle erst in den letzten Jahren auf Grund der immer weiterwachsenden Rechen- und Speicherkapazitäten moderner Hochleistungsrechner möglich.

Ziel der Arbeit ist es Modelluntersuchungen für ein gegebenes Entlastungsbauwerk durchzuführen und zu diesem Zweck mit Hilfe des gegebenen physikalischen Modell ein CFD-Modell (Computational Fluid Dynamics) unter Verwendung der Open-Source-Software OpenFOAM v1706 zu entwickeln und zu kalibrieren. Auf Basis existierender theoretischer Grundlagen ein Ergebnisvergleich durchzuführen um Anwendungsgrenzen sowie die notwendige Interaktion beider Modellierungsarten herauszuarbeiten und Empfehlungen für den praktischen Einsatz von Modelluntersuchungen sowie mögliche Optimierungsansätze für das Bauwerk abzuleiten.

Untersuchungsgegenstand ist ein Hochwasserentlastungsbauwerk mit Druckzufluss, Radialschütz und Sprungschanze mit einem vorgegebenen Wertebereich von Durchfluss- und Druckwerten als Eingangsgrößen (Abbildung 69). Der maximal abzuführende Durchfluss für ein Extremhochwasser ist mit $2040 \text{ m}^3/\text{s}$ vorgegeben und entspricht in etwa dem Durchfluss des Rheins (Mittlerer Abfluss MQ) auf der Höhe von Köln. Die Überstauhöhe und somit der maximale Druck vor dem Schütz beträgt $H = 125,375 \text{ m}$.

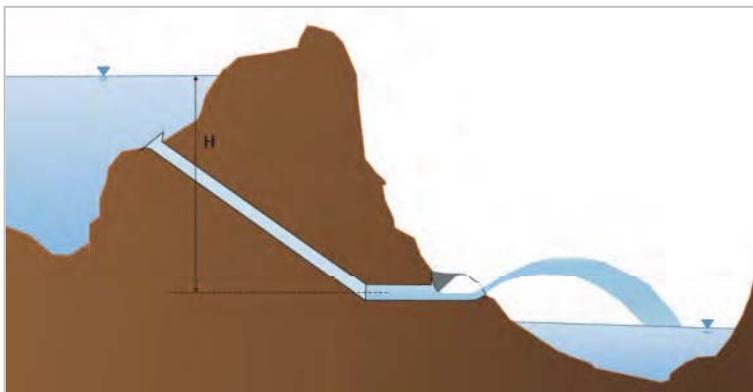


Abbildung 69: Systemskizze einer Hochwasserentlastungsanlage mit Entlastungsbauwerk mit Drucksegmentschütz und Sprungschanze

Als Tunnelverschluss und Durchflusskontrollanlage im ca. 60 m langen und ca. 10 m breiten Entlastungsbauwerk dient ein Radialschütz. Das durch einen volldurchflossenen Tunnel in das Bauwerk strömende Wasser fließt nach dem Radialschütz im Freispiegelabfluss in einem Rechteckgerinne zu einer Schanze mit konstanter Breite. Der Schanzenradius beträgt 28 m. Der Schanzenwinkel ist $27,5^\circ$. Das Wasser tritt in Form eines Freistrahls aus dem Bauwerk aus, weitet sich auf und trifft im Unterwasser auf, wo es Einfluss auf die dort auftretenden Strömungsverhältnisse hat. Bei der zu untersuchenden Strömung handelt es sich um eine turbulente Strömung im hydraulisch vollrauen Bereich.

Ergänzend zu der gegebenen (Schanze 1) wird eine weitere Schanzengeometrie (Schanze 2) betrachtet. Der Radius beider Schanzen ist identisch. Jedoch variiert in Schanze 2 die Schanzenlänge und somit der Schanzenwinkel zwischen $24,02^\circ$ auf der einen und $30,18^\circ$ auf der anderen Seite über die Schanzenbreite, so dass die Maße entlang der Mittelachse des Bauwerks denen der Schanze 1 entsprechen.

Die Untersuchungen wurden sowohl an dem gegebenen physikalischen als auch numerischen Modell durchgeführt. Dazu stand ein Versuchsstand in der Wasserbauhalle des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft sowie der Hochleistungsrechner der TU-Darmstadt zur Verfügung.

Die untersuchten Parameter umfassen zum einen die Drücke, Geschwindigkeiten und Kräfte am Bauwerk selbst. Zum anderen umfassen sie auch die Strahlcharakteristika (Wurfweite und Form) und den Bereich des auftreffenden Strahls im Unterwasser mit den dadurch entstehenden Strömungsverhältnissen. Für den Vergleich der Modellwerte wurden für drei Betriebszustände des Entlastungsbauwerks mit niedrigem, mittlerem und maximalem Abfluss durchgeführt.

Bei dem verwendeten physikalischen Modell handelt es sich um ein Froudemodell im Maßstab 1:51,25, das in einem Versuchsstand in einer 2 m breiten Versuchsrinne aufgebaut wurde. Das Auslassbauwerk besteht aus Acrylglas und weiteren Kunststoffen (Abbildung 70 bis 72). Das Radialschütz / Kreissegmentschütz (Kontrollorgan des Tunnels) ist aus Metall gefertigt.

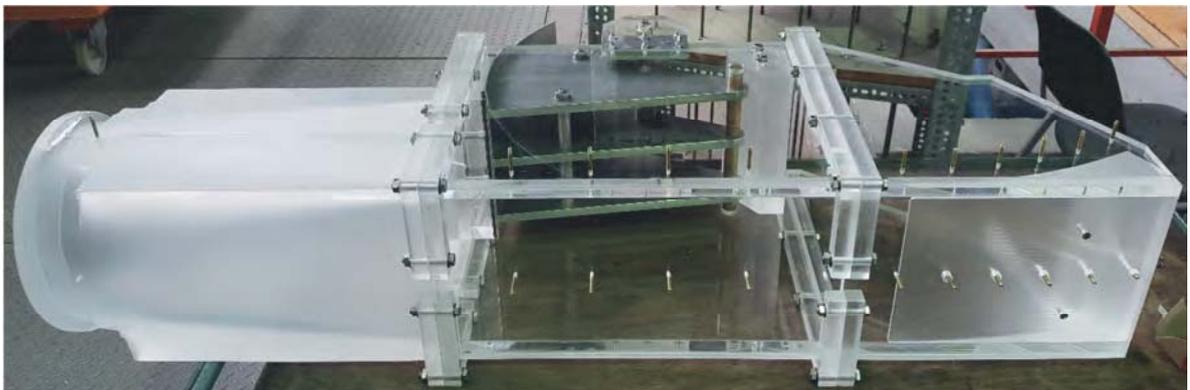
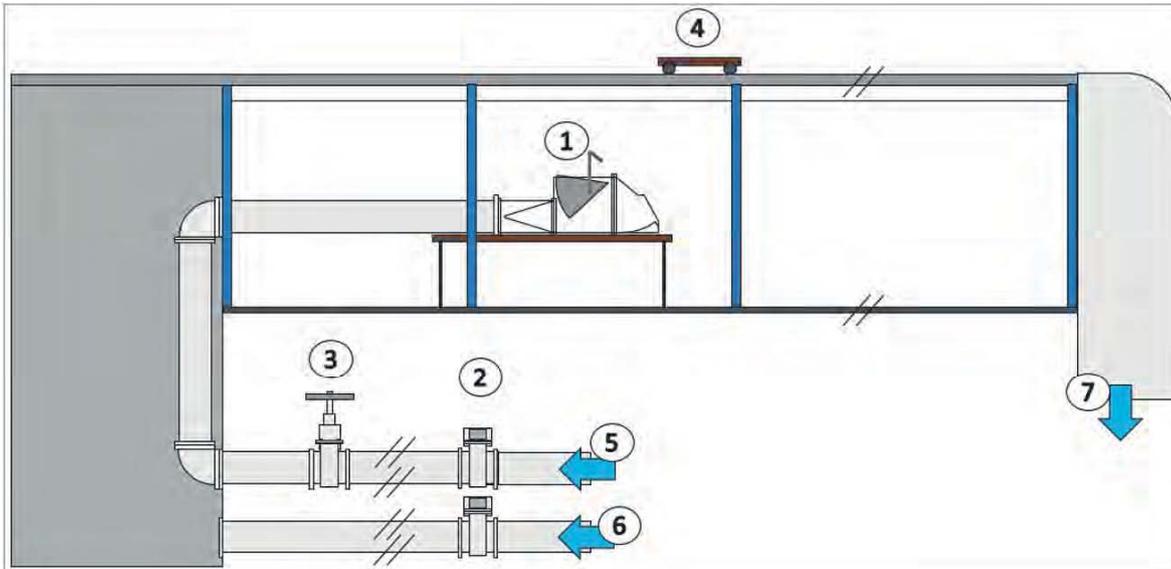


Abbildung 70: Dreiteiliges Bauwerksmodell aus Plexiglas mit Radialschütz und Druckmessbohrungen (Sicht von unten, Maßstab 1:51,25) Quelle: (Jens-Uwe Wiesemann)



- 1 – Modell Auslaufbauwerk
- 2 – MID
- 3 – Schieber
- 4 – Messwagen

- 5 – Zulauf in das Entlastungsbauwerk
- 6 – Zulauf in die Rinne (2x)
- 7 – Ablauf

Abbildung 71: Systemskizze des Versuchsstands im Wasserbaulabor (Darstellung der Laborrinne stark verkürzt)



Abbildung 72: Dreiteiliges Bauwerksmodell aus Plexiglas mit Radialschütz und Druckmessbohrungen (Maßstab 1:51,25)

Das CFD-Modell ist erfolgreich als Grobstruktursimulation (engl. „Large-Eddy-Simulation“, LES) mit dem Volume of Fluid-Multiphasenmodell (VOF) im Prototypmaßstab (1:1) umgesetzt worden (Abbildung 73). Eine Simulation der Strömungen im Unterwasser war im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich.

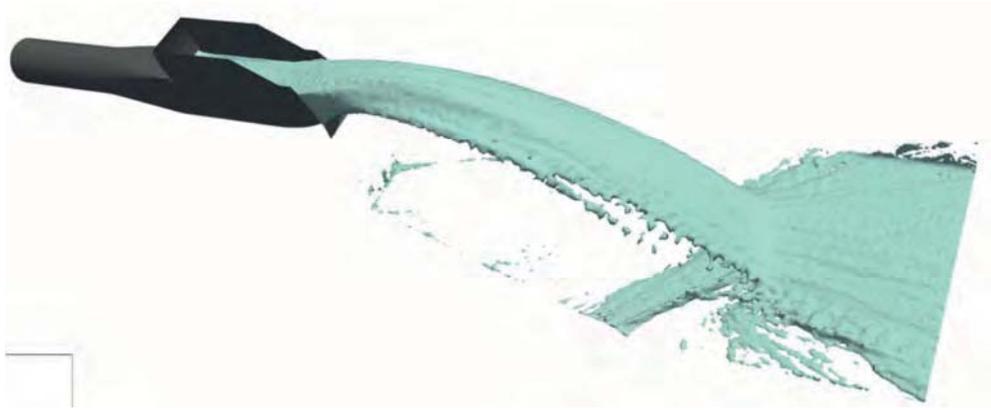


Abbildung 73: Visualisierung des im numerisches Modell simulierten Entlastungsstrahl (Maßstab: 1:1)



Abbildung 74: Versuchsstand physikalisches Modell in Laborrinne

Die Analyse der numerischen und physikalischen Modellwerte (Abbildungen 73 und 74) zeigt, dass nach erfolgreicher Kalibrierung des numerischen Modells die ermittelten Werte der Modelle nicht nur untereinander sondern auch mit den mit gängigen Bemessungsansätze aus der Literatur berechneten Werten gut übereinstimmen. Dies betrifft z.B. die gemessenen Maximaldrücke und Fließgeschwindigkeiten im Bauwerk (Abbildung 75).

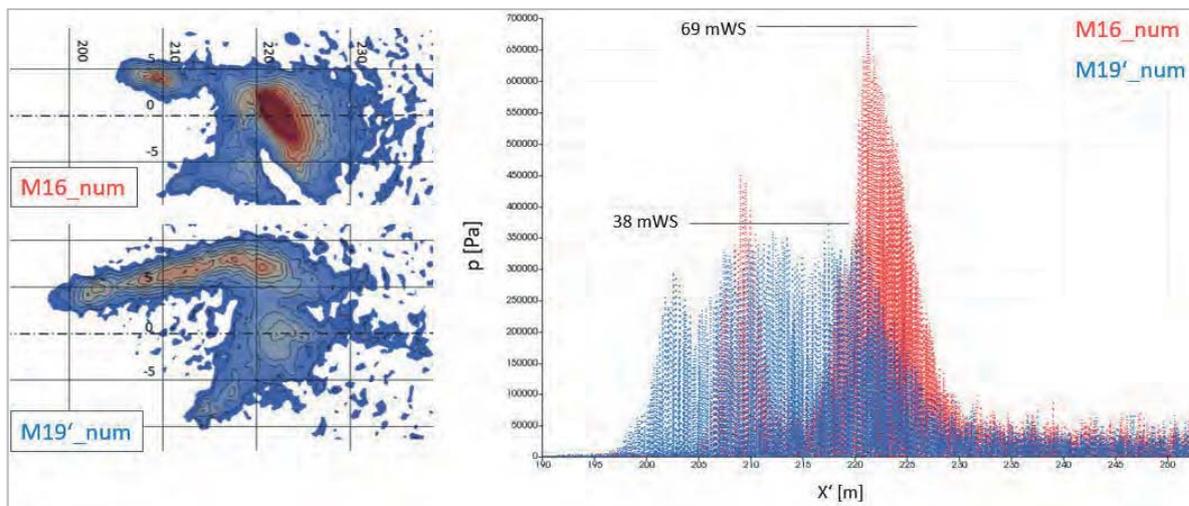


Abbildung 75: Vergleich der simulierte Druckverteilung im Auftreffbereich des Entlastungsstrahls von Schanze 1 (M16_num) und Schanze 2 (M19'_num)

Es hat sich in den Versuchen gezeigt, dass große Sorgfalt bei der Erstellung sowohl des physikalischen als auch des numerischen Modells notwendig ist. Modellergebnisse sind in jedem Fall auf Plausibilität zu prüfen. Dafür bietet sich das jeweils andere Modell an. So haben beide Modelltypen sensibel auf Ungenauigkeiten in der Konstruktion reagiert. Wesentliche Abweichungen von Werten konnten u.a. auf Modellfehler zurückgeführt werden. So verfälschten z.B. eine kleine Kante an der Bauwerkssohle im physikalischen Modell und eine ungünstige Vermaschung im numerischen Modell die ermittelten Druckwerte. Durch den Vergleich auffälliger Werte mit den korrespondierenden Werten des jeweils anderen Modells konnte der Einfluss der erwähnten Faktoren abgeschätzt und bewertet werden.

Darüber hinaus bietet die physikalische und numerische Modellierung eines Bauwerks nicht nur die Möglichkeit fehlerhafte Werte zu identifizieren, sondern auch auffällige Werte zu prüfen. Lassen sich Werte in beiden Modelltypen reproduzieren, so können Modellfehler weitestgehend ausgeschlossen werden. So konnten im physikalischen Modell auftretende Skalierungseffekte durch Reproduktion der Werte im numerische Modell (Maßstab 1:1) ausgeschlossen werden. Umgekehrt können auch numerische Phänomene als Ursache ausgeschlossen werden. So wurde eine von der in der Literatur abweichende Druckverteilung an der Schanzensohle sowohl im numerischen als auch physikalischen Modell festgestellt. Die in den Modelluntersuchungen festgestellte, von der Literatur abweichende Druckverteilung ist durch die Modellierung in beiden Modellen plausibel.

Die Modelluntersuchungen legen zudem die Schlussfolgerung nahe, dass ein direkter Zusammenhang zwischen Strömungsverhältnissen in der Schanze und der Entwicklung des Strahlquerschnitts/-profils nach Verlassen der Schanze mit rechteckigen Fließquerschnitts besteht. Betrachtet wurde die Entwicklung der Strahldicke und Strahlbreite im Vergleich zur Wassertiefe in der Schanze und der Schanzenbreite in Abhängigkeit der Strömungsverhältnisse. In der Literatur finden sich zur Strahlprofilform kaum Angaben. Der in der Arbeit aus den Modellwerten beider Modelle abgeleitete Zusammenhang muss in weiteren Untersuchungen mit anderen Schanzenbauwerken noch bestätigt werden. Andere untersuchte Strahlcharakteristika wie die Wurfweite (59 m bis 225 m) lagen im Wesentlichen in dem den Bemessungsansätzen aus der Literatur entsprechenden Wertebereich.

Die in der Laborrinne des physikalischen Modells ermittelten Fließgeschwindigkeiten können ein erster Anhaltspunkt für mögliche maximal auftretende Geschwindigkeiten sein. Es wurde eine stark alternierende Strömung beobachtet. Der resultierende Unterwasserstrahl wanderte über die glatte Rinnensohle zwischen den Rinnenwänden hin und her.

Die oben beschriebenen Beobachtungen beziehen auch die Ergebnisse der Untersuchung der alternativen Schanzengeometrie (Schanze 2) mit ein. Tatsächlich legen die Mess- und Simulationsergebnisse den Schluss nahe, dass die veränderte Geometrie der zweiten Schanze keinen nennenswerten Einfluss auf die auftretenden Drücke im Bauwerk oder die Wurfweite hat und die bekannten Bemessungsansätze somit auch für diese Schanzengeometrie gültig sind. Die Analyse der Ergebnisse weist jedoch darauf hin, dass durch den über die Schanzenbreite variierenden Schanzenwinkel der Schanze 2 der Entlastungsstrahl weiter aufgebrochen wird. Die für Schanze 1 beschriebenen Profilformen des Entlastungsstrahls werden bei Schanze 2 zur Seite hin verzerrt. Aufgrund dieser Beobachtung durchgeführte Analysen der Simulationsergebnisse des numerischen Modells weisen darauf hin, dass sich insbesondere für mittlere Durchflüsse die Druckbelastungen bei Auftreffen des Strahls mit der Schanze 2 gegenüber Schanze 1 deutlich verringern lassen. So reduziert sich der maximal simulierte Druck an der Rinnensohle für den mittleren modellierten Durchfluss von ca. 69 mWS mit Schanze 1 um fast die Hälfte auf ca. 38 mWS mit Schanze 2.

Abschließend ist festzustellen, dass ein gut kalibriertes numerisches Modell auf Basis des physikalischen Modells erstellt werden konnte. Dieses kann auf Basis der gewonnen Erkenntnisse weiter optimiert und als Grundlage für weiterführende Untersuchungen von weiteren Schanzengeometrien und anderen Schanzenbauwerken verwendet werden.

Außerdem hat sich das numerische Modell als wertvolle Ergänzung zum physikalischen Modell erwiesen. Physikalisches und numerisches Modell können zur gegenseitigen Prüfung und Bestätigung verwendet und Modelleffekte und Modellfehler leichter identifiziert und bewertet werden. Jedoch ist das

numerische Modell wenig intuitiv. Fehlerquellen sind teilweise schwer identifizierbar. Somit bleibt das numerische Modell aktuell auf die Verifizierung durch das physikalische Modell angewiesen.

Eine große Stärke des numerischen Modells ist die Möglichkeit, mehr Parameter an vielen Stellen im Modell zu überwachen und zusätzliche Analysen nach Abschluss der Simulation durchzuführen, da große Datenmengen dauerhaft zur Auswertung zur Verfügung stehen. Nur so konnten ausgehend von der Analyse der ermittelten Modellwerte unkompliziert zusätzlich die Drücke im Auftreffbereich des Strahls an Hand der Simulationsergebnisse untersucht werden. Eine weitere Stärke besteht darin, dass das einmal kalibrierte Modell bezüglich der Änderungen der Bauwerksgeometrie wesentlich flexibler als das physikalische Modell ist. Änderungen sind schneller und kostengünstiger durchführbar. Das mit der Schanze 1 erstellte und kalibrierte Modell lieferte ohne weitere Anpassung auch für die neue Bauwerksgeometrie mit Schanze 2 Werte, die gut mit denen des physikalischen Modells übereinstimmten.

Mit Kavitation Menschenleben schützen

Ein Beitrag von Jörg Steinhardt, Mitglied des Fördervereins

Kavitation, die Bildung und Auflösung von Dampfblasen, ist eine physikalische Erscheinung, die zum Beispiel bei technischen Anwendungen wie Pumpen oder Schiffschrauben, zerstörerisch wirkt. Deshalb wird viel Aufwand betrieben, Kavitation zu vermeiden. Dennoch kann die Kavitation in bestimmten Fällen und bei ausgesuchten Anwendungen positiv genutzt werden, wie z.B. bei der Hochdruckhomogenisierung oder bei Reinigungsprozessen in Ultraschallbädern (Abbildung 77).



Abbildung 77: Kavitationsblasen

Im Bereich der Wasseraufbereitung spielt die Kavitation bisher keine Rolle. Dies wird sich aber mit der Einführung der Steinhardt DILLIGENT Kavitationstechnik grundlegend ändern (Abbildung 76). Steigende Anforderungen in der Wasseraufbereitung, sowohl von Seiten des Gesetzgebers, als auch aus wirtschaftlichen Aspekten stellen die Industrie vor signifikante Herausforderungen. Die hygienische Betriebssicherheit zum Schutz von Gesundheit und Umwelt rückt mehr und mehr in den Mittelpunkt. Die Trinkwasserverordnung in der Fassung von 2018, die 42. BImSchV von 2017, sowie die VDI 2047-2 zeigen, dass der Gesetzgeber sich der Thematik nachhaltig annimmt.



Abbildung 76: Steinhardt DILLIGENT

Die Verfahren der Wasseraufbereitung können momentan wie folgt eingeteilt werden:

- Mechanisch, z.B. Filter, Rechen, Siebe
- Chemisch, z.B. Desinfektion, Oxidation, Flockung, Ionenaustausch
- Biologisch, z.B. biochemische Oxidation, Schlammfäulung
- Membran, z.B. Osmose, Nanofiltration
- Physikalisch, z.B. Belüftung, Verdüsung, Sedimentation, Flotation, Adsorption

Um eine hygienische Betriebssicherheit in Prozesswasserkreisläufen zu gewährleisten, müssen z.B. Algenbewuchs, Biofilmbildung und – am bekanntesten – Legionellen erfolgreich bekämpft werden.

Die Filtration von anorganischen Grob- und Feinverschmutzungen wie z.B. Staub, Metall- und Kunststoffabrieb ergänzt dabei die Hygiene vieler Systeme. Leider neigen die Filter selbst zur Verkeimung, was weitere Herausforderungen mit sich bringt.

In der Praxis begegnen die Betreiber von Wasserkreisläufen den immer gleichen Problem- und Aufgabenstellungen: Die Gewährleistung einer sicheren Hygiene wird dadurch erschwert, dass die Mikrobiologie in der Lage ist, sich speziell auf chemische und thermische Behandlungsmethoden einzustellen und Resistenzen auszubilden. Ganz neue Bakterienstämme entwickeln sogenannte Schläfer-Techniken und stellen sich bei verringertem Nahrungsangebot tot. Die Thematik der Multiresistenten Keime hat erstmals 2018 signifikant in der Öffentlichkeit und den Medien für Schlagzeilen gesorgt (NDR

7.2.18, Keimfunde in Niedersachsen). Auch in der Nidda bei Frankfurt wurden diese Keime nachgewiesen.

Auch bei der thermischen Behandlung von Legionellen in Gebäuden stößt man mehr und mehr an Grenzen. Neben dem kostenintensiven energetischen Aufwand sieht man sich dem Komplex der VNBC-Organismen gegenüber. VNBC-Organismen (viable but not culturable) wachsen nicht auf den üblichen mikrobiologischen Nährmedien, sind somit nicht nachweisbar, können aber jederzeit für eine erneute Kontamination sorgen.

Neue und wirksame Lösungsansätze zur Sicherung der Hygiene und zum Schutz von Gesundheit und Umwelt sind deshalb dringend erforderlich.

Steinhardt Wassertechnik hat mit der innovativen DILLIGENT Kavitationstechnologie jetzt eine neue Lösung marktreif gemacht. Für die Wasseraufbereitung werden hier die Kräfte der hydromechanischen Kavitation und des Unterdrucks in besonders wirksamer Weise genutzt. Steinhardt DILLIGENT-Aggregate nutzen diese physikalischen Prinzipien um Mikrobiologie und Biofilme wirksam und nachhaltig zu beseitigen.

Im Systemreaktor der DILLIGENT-Aggregate werden gezielt rotierende Strömungen erzeugt, am Boden umgelenkt und in die DILLIGENT-Düse geleitet. Die dabei durch die hydromechanische Kavitation verursachten hohen Drücke und Temperaturen zerstören zusammen mit dem erzeugten Unterdruck die Mikrobiologie mechanisch und umweltschonend. Der Luftsauerstoff, der dem System zugeführt wird, sorgt letztendlich für die Beseitigung der abgetöteten Mikrobiologie durch Oxidation.

Beim diesem Prozess wird die Oberflächenspannung deutlich abgesenkt, wodurch sich die Reinigungskraft des Wassers z. B. beim Waschen wesentlich erhöht. Dieser Umstand macht die DILLIGENT-Technologie zu einem besonders wirksamen Verfahren im Bereich von Reinigungsprozessen.

Weitere Vorteile: Das Verfahren der mechanischen Kavitation benötigt keine zusätzlichen Betriebsstoffe. Keime, Pilze, Hefen und Algenbewuchs werden zuverlässig entfernt, eine Neuverkeimung und Resistenzbildung effizient verhindert. Das DILLIGENT Verfahren bietet somit ein hohes Maß an hygienischer Sicherheit und leistet einen nachhaltigen Beitrag zum Schutz der Umwelt und der Gesundheit.

Für folgende Anwendungsgebiete können bereits erprobte Produkte angeboten werden:

- Hygiene in Prozesswasserkreisläufen wie z.B. Rückkühlwerken
- Hygiene in Warmwasserkreisläufen zur Bekämpfung von Legionellen
- Hygiene von Reinigungsprozessen z.B. in Kisten- Kastenwaschanlagen
- Pflege von Kühlschmieremulsionen und Waschlaugen

Namhafte Unternehmen aus der Lebensmittel-, Getränke und verarbeitenden Industrie nutzen die Steinhardt DILLIGENT-Technologie bereits erfolgreich. Die Einbindung der DILLIGENT-Aggregate erfolgt dabei platzsparend und im Teilstromverfahren. Der Systeminhalt wird so mehrfach behandelt.

Derzeit sind Leistungsstufen von 0,5m³ bis 100m³ pro Stunde möglich. Weitere Leistungsstufen sind bei Steinhardt bereits in Vorbereitung.

Kavitation statt Chemie – innovative Technik made in Germany zum Schutze der Menschen und unserer Umwelt!

Steinhardt Wassertechnik

Der Förderverein im Internet

Informationen, aktuelle Neuigkeiten und alle Ausgaben des WasserJahres finden sich auf der Homepage des Vereins zur Förderung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt e. V. unter dem Link

www.iww.tu-darmstadt.de/iww/foerderverein_2/index_foerderverein.de.jsp



Die Homepage beinhaltet folgende Rubriken:

- Informationen

Hier finden sich Informationen zur Mitgliedschaft und das digitale Formular des Aufnahmeantrags.

- DAWAKO

Informationen zum aktuellen **Darmstädter wasserbau- und wasserwirtschaftlichen Kolloquium** (DAWAKO) als auch ein Archiv mit den Beiträgen der vergangenen DAWAKO's sind in dieser Rubrik abgelegt.

- Förderpreis

Für besondere Arbeiten (Studien-, Diplom-, Bachelor-, Masterarbeiten oder Dissertationen) werden vom Förderverein Preise an die Bearbeitenden vergeben. Diese Rubrik stellt die Preisträgerinnen und Preisträger der vergangenen Jahre mit den Themen ihrer ausgezeichneten Arbeiten vor.

- Publikationen

Hier befindet sich das digitale Archiv des Jahreshaftes **WasserJahr**, welches das Institut jährlich mit Unterstützung des Fördervereines publiziert. Alle Ausgaben können digital im PDF-Format heruntergeladen werden. Zudem werden hier weitere interessante Beiträge (bspw. Exkursionsberichte) als Download veröffentlicht.

- Downloads

In dieser Rubrik befindet sich die digitale Ablage der Vereinssatzung, des Aufnahmeantrages und einer Einzugsermächtigung.

Der Förderverein lebt als Netzwerk von der Vielfalt und dem fachlichen Austausch der Mitglieder. Bitte unterstützen Sie dies und helfen Sie mit, neue Mitglieder anzuwerben.

Verein zur Förderung des
 Instituts für Wasserbau und
 Wasserwirtschaft der
 Technischen Universität Darmstadt
 Franziska-Braun-Straße 7
 64287 Darmstadt

AUFNAHMEANTRAG

Ja, ich/wir möchten Mitglied werden im:

**Verein zur Förderung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
 der Technischen Universität Darmstadt e.V.**

als Einzelmitglied (33 EUR/Jahr)*

als Institution (111 EUR/Jahr Mindestbeitrag)*

*bitte zutreffendes ankreuzen

Name, Vorname
 oder Institution:

Ansprechpartner
 bei Institutionen:

Straße, Hausnummer:

PLZ, Ort:

Telefon:

Email:

Ich bin damit einverstanden, Vereinspost per Email zu erhalten und den Mitgliedsbeitrag per Lastschriftverfahren abbuchen zu lassen. Eine entsprechende Einzugsermächtigung liegt diesem Antrag bei.

Ort Datum Unterschrift

Datenschutz:
 Ihre Daten werden ausschließlich für vereinsinterne Zwecke elektronisch gespeichert und nicht an Dritte weitergegeben.



WasserJahr 2018

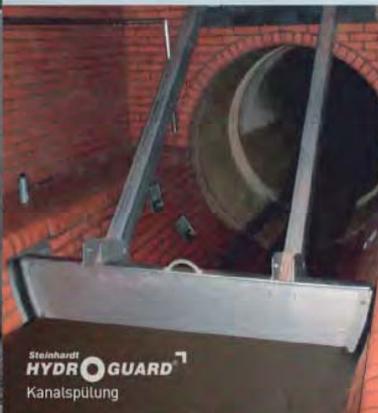
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



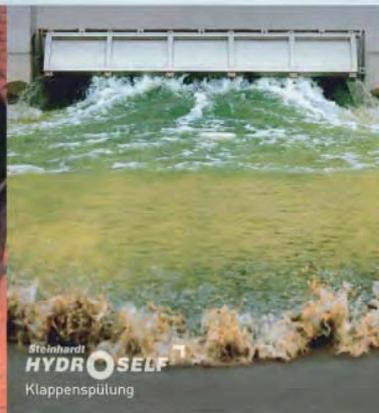
Steinhardt[®]
Wassertechnik



Steinhardt
HYDRMAXX[™]
Abflusssteuerung



Steinhardt
HYDRGUARD[™]
Kanalspülung



Steinhardt
HYDRSELF[™]
Klappenspülung



neu

Steinhardt
DILLIGENT[™]
WASSERAUFBEREITUNG

Nachhaltige Innovationen aus Edelstahl

- Regen- und Abwasserbehandlung
- Hochwasserschutz und Hochwasserrückhalt
- Wasseraufbereitung ohne Chemie
- Antriebs- und EMSR-Technik

www.steinhardt.de



Steinhardt
HYDRSLIDE[™]
Abflussregler Typ Mini



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung