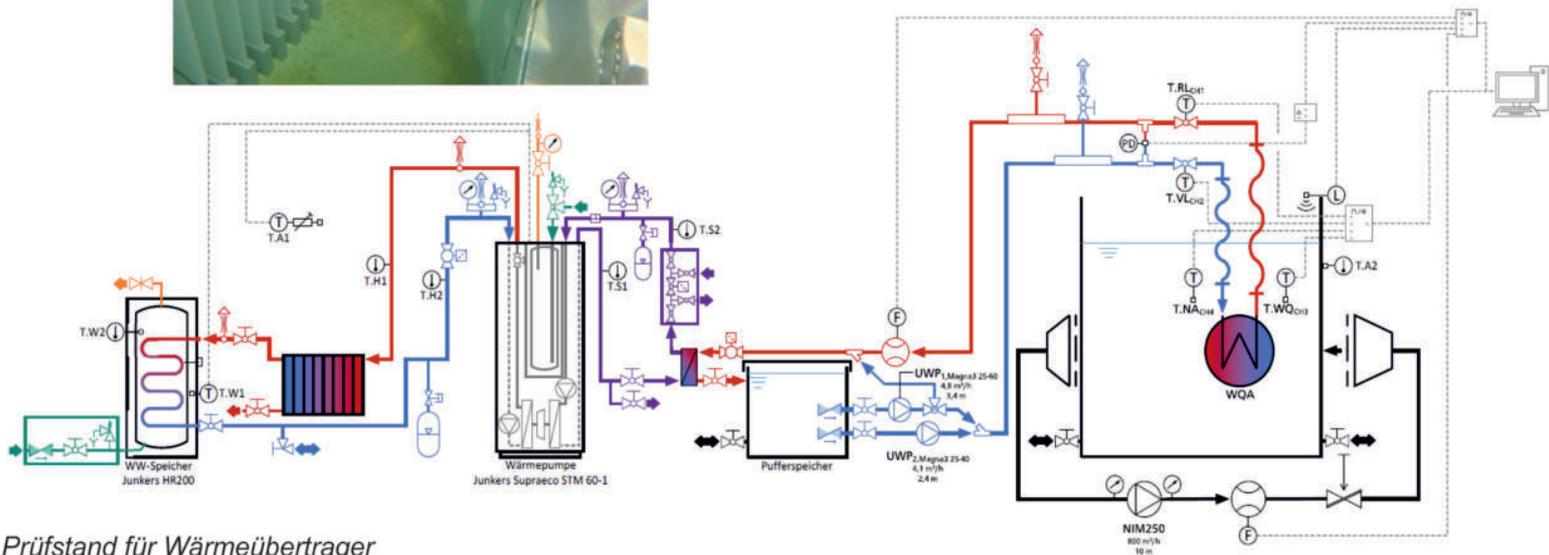


WasserJahr 2021

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



Prüfstand für Wärmeübertrager



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Editorial

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Freundinnen und Freunde des Fördervereins, das vorliegende Heft stellt Ihnen in gewohnter Weise aktuelle Aktivitäten aus dem Jahr 2021 vor und gibt Ihnen zudem einen kurzweiligen Einblick in das Institutsleben.

Das Jahr war weiter durch die Corona-Pandemie geprägt und konnte so leider nicht im Frühjahr mit dem DAWAKO beginnen. Die Mitgliederversammlung des Fördervereins wurde daher erstmals digital durchgeführt. Es wurde ein neuer Vorstand gewählt, der bereits seine Arbeit aufgenommen hat. Dazu finden Sie im Heft einen Bericht von unserem neuen Vorsitzenden.

Das WasserJahr 2021 gibt Ihnen einen Einblick in die vielen verschiedenen Lehr-, Forschungs- und Promotionsvorhaben des Instituts. In der Lehre gab es einige Veränderungen durch neue Prüfungsordnungen, durch die es zu einer Neu- und Umstrukturierung der Studiengänge kam. Zudem wurden wertvolle Erfahrungen durch die Beteiligung am neuen Wasserstudiengang *WaterTech* an der Vietnamesisch-Deutschen Universität in Ho Chi Minh City gesammelt. Zahlreiche Abschlussarbeiten, auch unter Einbeziehung von Firmen, Behörden, Ingenieur- und Planungsbüros, deckten interessante Themen aus Wasserbau und Wasserwirtschaft ab. Einige ausgewählte studentische Thesen sind als Kurzbeiträge im Heft veröffentlicht.

Im Bereich der Forschung kann über innovative Methoden, interessante Ergebnisse und Fortschritte sowie weitverzweigte fachliche Vernetzung berichtet werden. Die Forschungsarbeiten beinhalten zudem zahlreiche nationale und internationale Kooperationen, auch unter Nutzung der hervorragenden Ausstattungen des Wasserbaulabors bzw. des hydrologischen Feldlabors. Aus den Erkenntnissen und der Expertise des Instituts konnten einige interessante Publikationen veröffentlicht werden. Ebenso führte die Mitarbeit oder Leitung verschiedener Verbände und Arbeitsgruppen zur noch größeren Sichtbarkeit.

Unser gemeinsames Foto im Editorial wurde dieses Mal vor dem Institut aufgenommen. Im vergangenen Jahr haben wir alle Baufortschritte für die Lichtwiesenbahn optisch und akustisch mitbekommen, die dann im Jahr 2022 durch die Inbetriebnahme und eine verbesserte ÖPNV-Anbindung des Campus Lichtwiese ihr Ende finden werden.

Wir wünschen Ihnen nun viel Spaß beim Durchblättern und Lesen des WasserJahr 2021 und bedanken uns recht herzlich bei Ihnen allen für die gute Unterstützung des Instituts.



Britta Schmalz

*Prof. Dr. habil. Britta Schmalz, Fachgebietsleiterin
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung*

Boris Lehmann

*Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann, Fachgebietsleiter
Wasserbau und Hydraulik*

Inhalt

- Informationen aus dem Förderverein 3
- Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten 6
- Aus den Fachgebieten: Wasserbau und Hydraulik 25
 - Lehre 25
 - Promotionen 31
 - Forschung 36
- Aus den Fachgebieten: Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung 56
 - Lehre 56
 - Promotionen 57
 - Forschung 58
- Der Förderverein im Internet 78

Impressum

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Prof. Dr. habil. Britta Schmalz

Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

Unterstützt durch:

Förderverein des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt e.V.

Titelbild: Versuchsstand zur Prüfung und Optimierung von Wärmetauschern für den Einsatz in Gewässern

Informationen aus dem Förderverein

Dr.-Ing. Andreas Wetzstein

Auch das vergangene Jahr 2021 war entgegen unserer aller Hoffnung erneut geprägt von der COVID-19-Pandemie und ein Ende der damit einhergehenden Einschränkungen kann auch jetzt, nach annähernd 2 Jahren noch nicht vorhergesehen werden. Insbesondere vor dem Hintergrund der Durchführung von Lehrveranstaltungen stehe ich mit dem Wunsch nach einer baldigen Normalisierung des Vorlesungs- und Forschungsbetriebs an unseren Hochschulen und Universitäten sicherlich nicht allein da.



Das DAWAKO konnte 2021 leider nicht durchgeführt werden und auch für das kommende Jahr werden wir auf eine Umsetzung in der gewohnten Form erneut verzichten müssen. Selbst wenn sich die Situation bis ins kommende Frühjahr wieder entspannen sollte, wird im eng gestrickten Prüfungskalender der TU Darmstadt eine Seminarveranstaltung wie das DAWAKO erneut nicht sicher planbar sein.

Aber umso mehr freuen wir uns, dass das kommende DAWAKO zumindest als Online-Veranstaltung durchgeführt werden kann. So bleibt der Veranstaltungskalender rund um das Ende des Wintersemesters aufrechterhalten und es kann die Gelegenheit geboten werden, wissenschaftliche Beiträge rund um die aktuellen Forschungsthemen am Institut vorzustellen und im fachlich interessierten Umfeld zu diskutieren. Auch Studierenden und den Mitgliedern des Fördervereins bleibt auf diese Weise der bewegte Einblick in die laufenden Forschungen erhalten.

Als Online-Veranstaltung wurde auch die Mitgliederversammlung im vergangenen Jahr durchgeführt. Diese Art der Durchführung war nur durch eine entsprechende Gesetzesänderung möglich, die 2020 in Kraft getreten ist. Um künftig flexibler bei der Durchführung von Mitgliederversammlungen reagieren zu können, wurde eine entsprechende Satzungsänderung vorgenommen und in der Mitgliederversammlung beschlossen. Auch die Neuwahlen des Vorstands wurden erfolgreich durchgeführt. Beides wurde vom Amtsgericht in das Register übernommen.

An dieser Stelle möchte ich mich nun für die Wahl zum Ersten Vorsitzenden bei den Teilnehmerinnen der Jahreshauptversammlung bedanken. Ich bedanke mich für das entgegengebrachte Vertrauen und ich freue mich auf die künftig anstehenden Aufgaben.

Mein besonderer Dank gebührt meinem Vorgänger im Amte, Dr. Thomas Kraus, der die Geschicke des Fördervereins seit 2012 mehr als erfolgreich gelenkt hat. Während seiner Amtszeit wurden zwei Professuren neu besetzt, das DAWAKO wieder eingeführt, JUWI-Treffen und internationale studentische Austausch organisiert und vieles, vieles mehr. Seiner Arbeit und seinem Engagement ist es zu verdanken, dass eine von gegenseitigem Vertrauen geprägte Vorstandsarbeit und ein angenehmes Miteinander die erfolgreiche Abwicklung dieser zahlreichen Projekte fachgebietsübergreifend ermöglichte. Als seinem Nachfolger hinterlässt er mir neben den großen Fußstapfen aber auch ein „bestelltes Feld“. Insbesondere die hervorragend strukturierte Dokumentation der erforderlichen Tätigkeiten erleichtert mir bereits jetzt den Einstieg in das neue Amt. Darüber hinaus bleibt Thomas Kraus als Vorstandsmitglied dem Verein auch künftig eng verbunden.

Bedanken möchte ich mich auch bei Prof. Nicole Saenger, die sich seit 2009 im Vorstand des Fördervereins einbrachte. Sie wurde im letzten Jahr zur Vizepräsidentin für Forschung und Nachhaltige Entwicklung an der Hochschule Darmstadt gewählt, wofür wir sie herzlich beglückwünschen! Sie bleibt dem Förderverein verbunden, aber die mit der Wahl bedingten zunehmenden Verpflichtungen bewogen sie zum Rückzug aus dem Vorstand des Fördervereins. Ich bedanke mich im Namen des gesamten Vorstands für ihre Mitarbeit in den vergangenen Jahren und ich wünsche ihr viel Erfolg in diesem neuen Amt.

Für den frei gewordenen Platz wurde Dr. Dirk Jelinek in den Vorstand gewählt. Auf den beruflichen Stationen, die sich seiner Promotion anschlossen, bestand immer eine enge Verbindung zum Institut, was auch durch die Zahl der gemeinsam betreuten Abschluss- und Forschungsarbeiten betätigt wird.

Ich durfte ihn bereits in meiner Studienzeit und meinen Anfangsjahren als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut kennenlernen und freue mich daher persönlich ganz besonders über seine künftige Mitarbeit.

Traditionsgemäß wurde die Mitgliederversammlung des Fördervereins immer im Anschluss an das DAWAKO durchgeführt. Auch im kommenden Jahr wollen wir noch einmal von dieser Tradition abweichen und die Mitgliederversammlung in den Sommermonaten 2022 als Präsenzveranstaltung durchführen. Ein Termin wird hoffentlich im kommenden Frühjahr festgelegt. In diesem Rahmen soll dann auch wieder die Präsentation der von der Jury ausgewählten Abschlussarbeiten erfolgen. Im Anschluss könnte die Veranstaltung durch ein gemeinsames Barbecue an der Lichtwiese abgerundet werden... Ist das nicht eine schöne Vorstellung?

Wir hoffen darauf, dass wir uns im kommenden Jahr gesund wiedersehen und endlich wieder Gelegenheiten zum fachlichen und zwischenmenschlichen Austausch bekommen.

Mit freundlichen Grüßen



Dr.-Ing. Andreas Wetzstein

Erster Vorsitzender

Verleihung der Förderpreise

In Zeiten der Pandemie prägen Online-Konferenzen den Studienalltag wie auch den Geschäftsalltag. Einerseits tragen sie dazu bei, dass lange Anreisen für die Teilnehmenden und große Teile des organisatorischen Aufwands für die Veranstaltenden entfallen, aber zum Opfer fällt leider auch der bei Präsenzveranstaltungen zu erzielende, unmittelbare Austausch zwischen den Beteiligten. Fluch und Segen zugleich; wir sind gespannt, wo die Reise hingeht.

Auch der Förderverein machte sich die neue Technik zunutze. Zum ersten Mal wurde die Jahreshauptversammlung online durchgeführt und ermöglichte auf diese Weise die dringend durchzuführenden Vorstandswahlen. Der Hauptdank an dieser Stelle gebührt Dominik Scholand, der die technische Organisation der Veranstaltung minutiös plante und zur Umsetzung brachte.

Als Rahmenveranstaltung präsentierten die Studierenden ihre prämierten Abschlussarbeiten in Kurzvorträgen. Geehrt wurden die Arbeiten von

- Anna Katharina Berger, „Anergienetze zur Oberflächengewässernutzung“ (Bachelorthesis)
- Kerstin Reifschläger, „Optimierung eines Niederschlag-Abfluss-Modells durch Erweiterung des auf Elementarflächen basierenden physikalischen Bodenfeuchteansatzes“ (Masterthesis)
- Tobias Schilling, „Untersuchungen zur Abflussleistung des Sulzbächle-Dükers in Weinheim“ (Masterthesis)

Die Förderpreise in Höhe von jeweils 500,- € wurden dankenswerterweise gestiftet von Björnsen Beratende Ingenieure GmbH, IGM Messen GmbH und UNGER ingenieure Ingenieurgesellschaft mbH.

Auch die anschließende Preisverleihung wurde virtuell in einer „breakout session“ abgehalten. Die „Kachelwand“ wurde hier also zur „Wall of fame“!

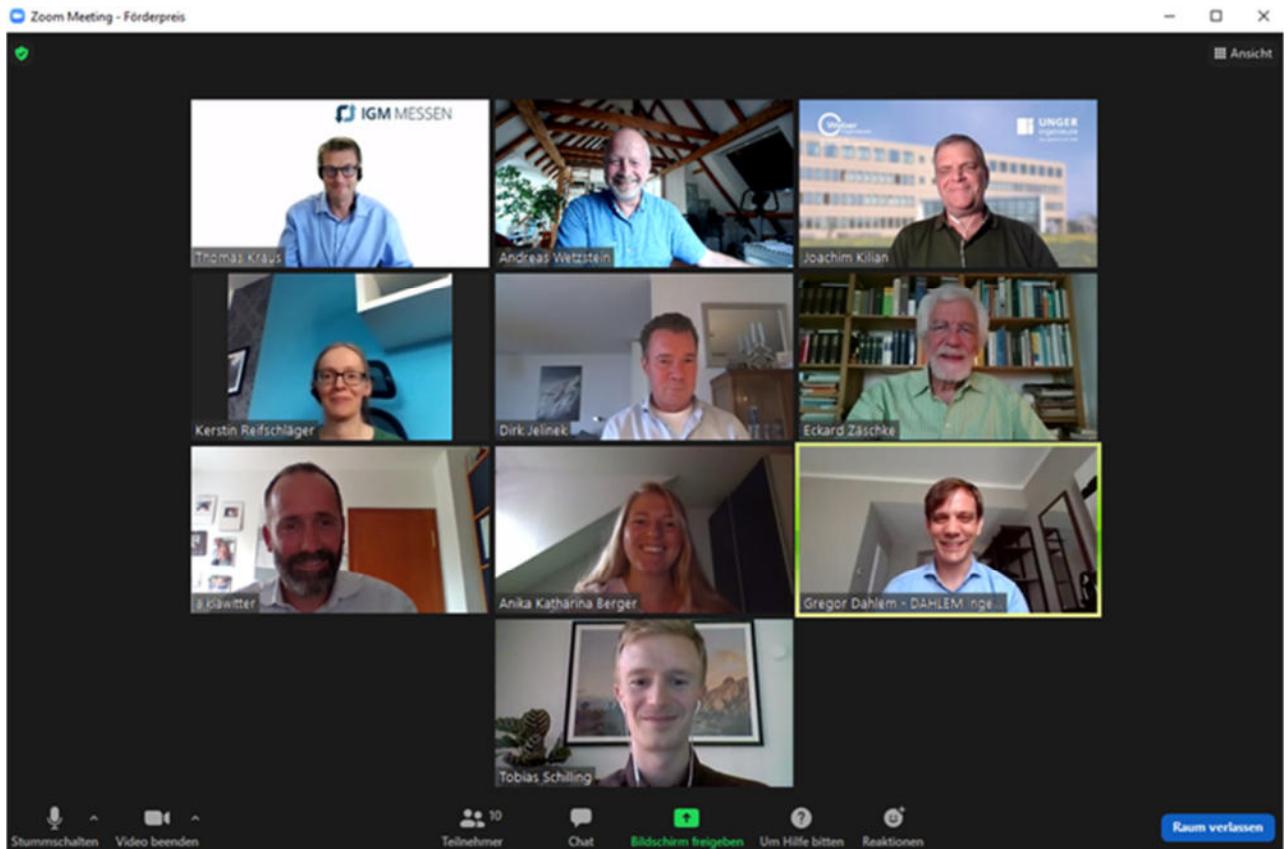


Abbildung 1: Von links oben: Dr. Thomas Kraus (IGM Messen, Förderpreisstifter), Dr. Andreas Wetzstein (Jury), Prof. Joachim Kilian (UNGER ingenieure, Förderpreisstifter), Kerstin Reifschläger (Preisträgerin), Dr. Dirk Jelinek (Björnsen, Förderpreisstifter), Prof. Eckard Zäschke (Jury), Dr. Arne Klawitter (Jury), Anika Katharina Berger (Preisträgerin), Dr. Gregor Dahlem (Jury) und Tobias Schilling (Preisträger)

Der Förderverein bedankt sich ausdrücklich bei den Förderpreisstiftern 2021:



Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Thermofluiddynamische Grenzschichtprozesse bei hydrothormaler Nutzung von Fließgewässern

Masterthesis von Jessika Gappisch
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Hintergrund und Veranlassung

Gerade vor dem Hintergrund, dass der Anteil erneuerbarer Energie an der benötigten Gesamtenergie sukzessive gesteigert werden soll, wie es u.a. die EU-weiten Zielvorgaben bis 2030 im Rahmen der Klima- und Energiepolitik vorsehen, ist auch die Nutzung von Wärme aus erneuerbaren Quellen sinnvoll. Fließgewässer bieten sich zur Nutzung ihrer Umweltwärme im Rahmen der Wärmebereitstellung durch Wärmepumpen an. Zum einen hat Wasser eine hohe spezifische Wärmekapazität (etwa $4,2 \text{ kJ}/(\text{kg K})$) und zum anderen wird durch das fließende Wasser dafür gesorgt, dass die Wärmequelle fortlaufend regeneriert. Der Einsatz eines Wärmeübertragers im Fließgewässer macht es möglich, die dortige Umweltwärme aufzunehmen und zur Wärmepumpe zu führen. Wie gut der Wärmeübergang am Wärmeübertrager vollzogen werden kann, hängt unter anderem davon ab, wie sich die laminare Grenzschicht an der Wandung des Wärmeübertragers entwickelt. Sie wirkt wie ein Wärmewiderstand, da hier die Wärme größtenteils über Wärmeleitung transportiert wird und kaum über die effektivere Variante der Konvektion, wie es in der turbulenten Strömung geschieht. In dieser Arbeit wurde die Entwicklung der Grenzschichten am strömungs- und wärmetechnischen Versuchsstand des Fachgebiets Wasserbau und Hydraulik an der Technischen Universität Darmstadt untersucht. Dabei wurden die Einflüsse der Anströmgeschwindigkeit und der Spaltbreiten des Wärmeübertragers – welche beide die Grenzschichtentwicklung verändern – auf den Wärmeübergang analysiert. Daneben wurde ein Bezug beider Einflussgrößen zum Strömungswiderstand des Wärmeübertragers hergestellt. Abschließend wurde geprüft, inwieweit sich das Softwarepaket OpenFOAM zur Abbildung von Wärmesenken in Fließgewässern eignet.

Ergebnisse zum Strömungswiderstand und zum grenzschichtbeeinflussten Wärmeübergang

Der in den experimentellen Untersuchungen eingesetzte Wärmeübertrager besteht aus vertikalen Stegplatten, deren Abstände zueinander variiert werden können (vgl. Abbildung 2). Der kleinste Spalt-Abstand („S1“) beträgt 1 cm, der breiteste Wärmeübertrager hat Spalten mit 3,5 cm Breite („S6“). Der Wärmeübertrager wurde in einem mit Wasser gefüllten Versuchsbecken installiert und vor dem Zulaufrohr positioniert. Über das Rohr strömte Wasser ins Versuchsbecken und durchströmte damit auch den Wärmeübertrager. Der maximale Spaltabstand wurde dabei so gewählt, dass sich der Wärmeübertrager noch immer im Rohrquerschnitt (Strömungsbereich) befindet.

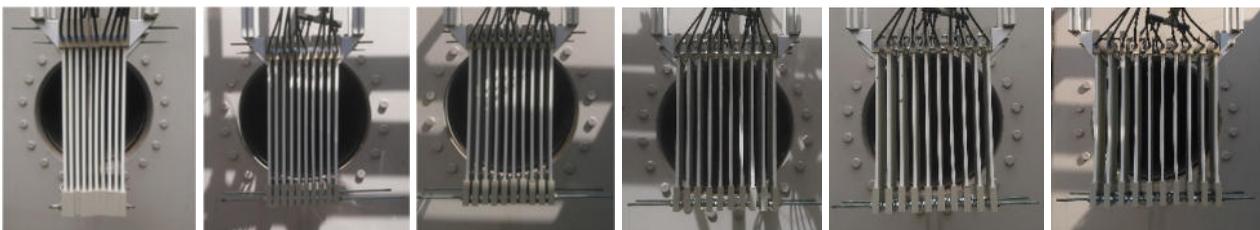


Abbildung 2: Darstellung der umgesetzten Spaltbreiten S1 bis S6 (von links nach rechts)

Um zu erfassen, wie stark der Wärmeübertrager mit unterschiedlicher Spaltbreite die Anströmgeschwindigkeit abbremst, wurden die Geschwindigkeiten der ungestörten Anströmung, unmittelbar vor dem Wärmeübertrager und unmittelbar dahinter erfasst. Um den Strömungswiderstand zu quantifizieren, wurden Kennzahlen abgeleitet: Pro Spaltabstand wurden ein ζ -Wert und ein $c_{w,s}$ -Wert ermittelt. Beim Verlauf des $c_{w,s}$ -Werts über der Spaltbreite b fällt auf, dass der Geschwindigkeitsverlust ab

Spaltbreite 5 (3 cm) zwar noch immer kleiner wird, aber nicht mehr in dem Maße wie zuvor fällt (vgl. Abbildung 3, links). Selbige Aussage kann mithilfe des ζ -Wertes getroffen werden. Der $c_{w,s}$ -Wert ist an den für Umströmungen verwendete Widerstandsbeiwert c_w angelehnt und nutzt den Stützkraftansatz, um die Widerstandskraft am Wärmeübertrager zu ermitteln. Außerdem kann festgestellt werden, dass das Verhältnis der mittleren Geschwindigkeit hinter dem Wärmeübertrager zu derjenigen vor ihm in etwa der Porosität des Wärmeübertragers entspricht. Die Wärmeübertrager-Porosität ist dabei als das Verhältnis der Spalteintrittsflächen zur gesamten Stirnfläche des Wärmeübertragers definiert.

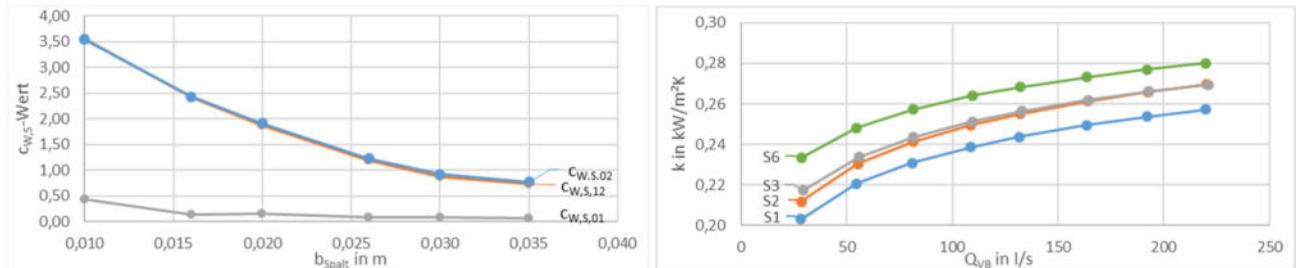


Abbildung 3: Der $c_{w,s}$ -Wert aufgetragen über der Spaltbreite b (links) und der Wärmedurchgangskoeffizient k aufgetragen über dem Durchfluss Q_{VB} als Trendlinie (rechts)

Bed. rechts: Grädigkeit 4,5 K; Durchfluss im Wärmeträgerkreislauf bei 70 % der maximalen Drehzahl

In den Versuchsreihen zum grenzschichtbeeinflussten Wärmeübergang wurden pro Spaltbreite zwei unterschiedliche Grädigkeiten eingestellt und die Durchflüsse am und im Wärmeübertrager variiert. Dabei wurden die zugehörigen Wärmeentzugsleistungen ermittelt. Um die Ergebnisse unabhängig von schwankenden Temperaturdifferenzen zu betrachten, wurde der Wärmedurchgangskoeffizient k verwendet. Aufgrund der geringen Entzugsleistung des Wärmeübertragers fallen Messungenauigkeiten ins Gewicht, doch ist die Tendenz erkennbar, dass bei breiter werdenden Spalten und höher eingestellten Durchflüssen mehr Wärme pro Zeit übertragen wird (vgl. Abbildung 3, rechts). Dies lässt sich damit begründen, dass beide Einflussfaktoren – die Spaltbreite und der Durchfluss – Auswirkungen auf die Geschwindigkeiten in den Spalten haben, welche wiederum die Grenzschicht beeinflussen. Bei breiteren Spalten und größeren Durchflüssen steigen die Spaltgeschwindigkeiten und reduzieren damit die Dicke der sich entwickelnden Grenzschichten. Da die Grenzschicht wie ein Wärmewiderstand fungiert, kann Wärme bei schmalen Grenzschichten besser übertragen werden als bei dicken. Die im Rahmen der experimentellen Untersuchungen möglichen Spaltbreiten lassen noch keinen Schluss zu, ab wann eine Verbreiterung der Spalte kaum noch eine Verbesserung des Wärmeübergangs ermöglicht. Doch konnte gezeigt werden, dass die Verbreiterung der Spalte eine Reduktion der Plattenanzahl möglich macht: 9 Platten der größten Spaltbreite wären hier in der Lage, die gleiche Entzugsleistung wie 10 Platte der kleinsten Spaltbreite zu liefern.

Numerische Abbildung thermofluidodynamischer Prozesse in OpenFOAM

Im Zuge der Überprüfung, inwieweit OpenFOAM zur Abbildung einer Wärmesenke in Fließgewässern geeignet ist, wurden verschiedene Solver untersucht, mit deren Hilfe Teilaspekte von Wärmeübertragern in Wasser numerisch dargestellt werden können. Der Solver „chtMultipleRegionFoam“ ist zur gesamtheitlichen Abbildung wärme- und strömungstechnischer Prozesse am vielversprechendsten.

Fazit und Ausblick

Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen wurden zunächst Kennzahlen zur Quantifizierung des Strömungswiderstands eines Wärmeübertragers erarbeitet. Möglicherweise gelingen über diese Kennzahlen Verallgemeinerung für andere Spaltbreiten; mit ein paar Anpassungen wäre womöglich auch eine Vorhersage für andere Apparate ähnlicher Bauart denkbar. Bei den Untersuchungen zum grenzschichtbeeinflussten Wärmeübergang konnte festgestellt werden, dass die Verbreiterung der Spalte durch die Erhöhung der Fließgeschwindigkeiten in den Spalten mit einem erhöhten Wärmeübergang einhergeht. Durch die Spaltverbreiterung kann also bei gleichbleibender Wärmeentzugsleistung Material eingespart werden. Schließlich wurde bestätigt, dass sich OpenFOAM prinzipiell zur Abbildung wärme- und strömungstechnischer Prozesse eignen kann.

Analyse der Bodenerosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und ihres Anschlussgrades an Fließgewässer unter Verwendung von frei verfügbaren Daten



Masterthesis von Lorena Gormsen
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Eine intensive, maschinelle Bewirtschaftung der landwirtschaftlich genutzten Ackerböden macht sie angreifbar für häufiger auftretende Starkregenereignisse. Ein durch Bodenerosion verursachter Abtrag von Material führt zu irreversiblen Verlust des fruchtbaren Oberbodens und darüber hinaus zu diffusen Stoffeinträgen auf angrenzende Infrastruktur, nachgeschaltete Ökosysteme und in angeschlossene Fließgewässer. Für die Abschätzung der Bodenerosionsgefährdung hat sich in der Praxis das weit verbreitete, empirische Modell der allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) etabliert. Mit der ABAG wird der langjährige, mittlere Bodenabtrag durch Wasser auf landwirtschaftlich genutzten Flächen ermittelt. Die Praxis zeigt, dass die für eine Erosionsmodellierung relevanten Geodaten trotz rechtlichen Rahmens (INSPIRE) nicht immer frei verfügbar sind und sich in Qualität und Quantität von den kostenpflichtigen Datensätzen unterscheiden. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Einzugsgebiet der Gersprenz hinsichtlich der Bodenerosionsgefährdung auf landwirtschaftlich genutzten Flächen und deren Anschlussgrad an das Gewässer untersucht mit dem Ziel frei verfügbare Daten (open data) mit lizenzierten, kostenpflichtigen Datensätzen zu vergleichen und deren unterschiedlichen Einfluss auf die Erosionsmodellierung mit der ABAG aufzuzeigen.

Datengrundlage und Methodik

Für die Berechnung der Bodenerosionsgefährdung durch Wasser nach DIN 19708 wurden zunächst die Einzelfaktoren der ABAG aus den Eingangsdaten für das Jahr 2016 bestimmt. Als grundlegende Berechnungseinheit wurden Feldblöcke verwendet, welche als zusammenhängende, landwirtschaftliche Nutzflächen mit dauerhaften Außengrenzen definiert sind. Im Anschluss an die Bodenerosionsgefährdung wurde eine Fließweganalyse durchgeführt und der Anschlussgrad der Feldblockeinheiten an die Fließgewässer bestimmt. Über eine Gewichtung der Erosionsgefährdung und des Gewässerabstands wurden abschließend Erosionshotspots nach DWA-M 910 identifiziert.

Ergebnisse und Analyse/Diskussion

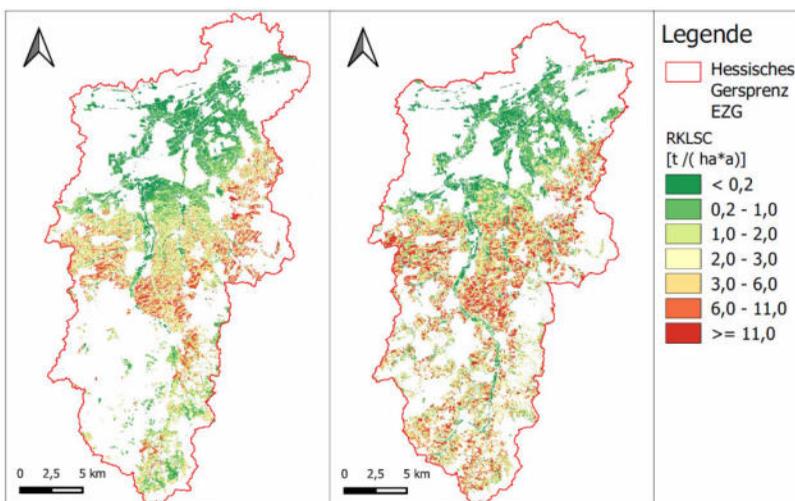


Abbildung 4: Vergleich der Bodenerosionsgefährdung mit Open Data (links) und lizenzierten Daten (rechts) im Gersprenz EZG

Die Berechnungen ergaben für das Open Data Modell einen mittleren Bodenabtrag von 2,93 t/(ha · a) bei 17,49 ha landwirtschaftlicher Fläche und 4,71 t/(ha · a) für das lizenzierte Modell bei einer Fläche von 20,46 ha. Beide Modelle in Abbildung 4 zeigen eine für ein Mittelgebirge typische hohe bis sehr hohe Erosionsgefährdung im zentralen und südlichen Teil des Einzugsgebiets Gersprenz. Deutliche Abweichungen ergeben sich jedoch aufgrund der unterschiedlichen Auflösungen der Digitalen Geländemodelle bei der Bestimmung von Hangneigung und Hanglänge

(L- und S-Faktor) sowie bei der Bestimmung der Feldblockeinheiten aufgrund der großen Unterschiede der beiden Eingangsdatensätze insbesondere im südwestlichen Teil.

Ähnliche Ergebnisse konnten auch für die Bestimmung des Anschlussgrades der Feldblöcke an die Fließgewässer und bei der Bestimmung der Erosionshotspots in Abbildung 5 aufgezeigt werden. Die beispielhafte Darstellung der klassifizierten Ergebnisse für die Hotspots im Untersuchungsgebiet des Reinheimer Hügellandes zeigt, dass mit dem Open Data Modell zwar insgesamt mehr Flächen mit einem Gewässeranschluss identifiziert wurden, aber aufgrund der fehlenden Infrastrukturdaten zum Teil gar keine Ergebnisse für manche Teilgebiete vorlagen.

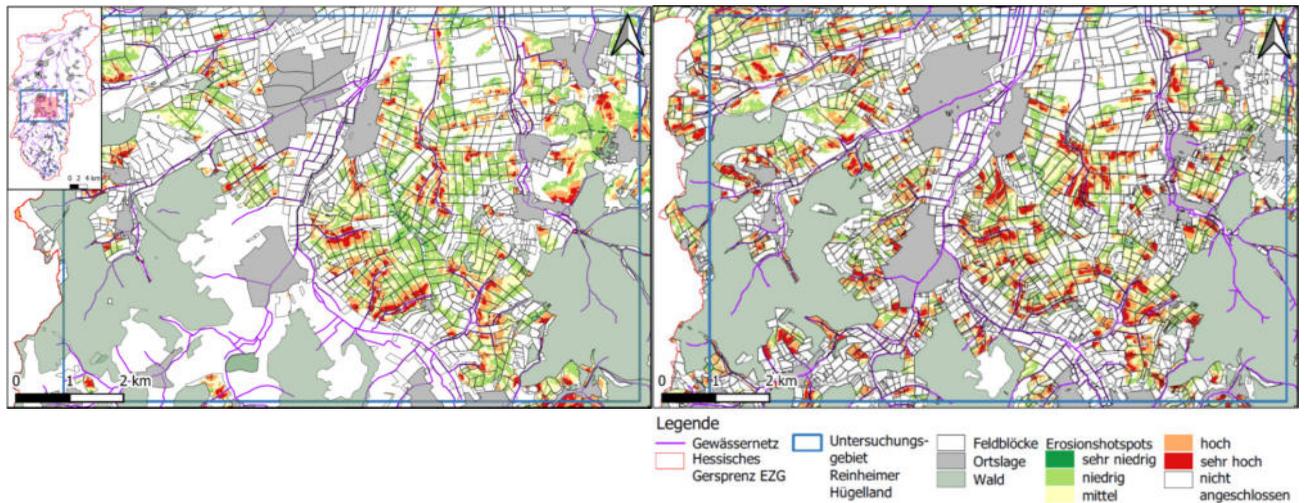


Abbildung 5: Identifizierte Erosionshotspots im Untersuchungsgebiet Reinheimer Hügelland mit Open Data Modell (links) und lizenziertem Modell (rechts)

Eine ergänzende Begehung im Gelände hat gezeigt, dass das lizenzierte Modell Erosionshotspots realitätsnäher abbildet als das Open Data Modell. Abbildung 6 veranschaulicht einen repräsentativen Standort im März 2021 mit einer typischen flächenhaften Erosion im Mittelteil des Hangs sowie Ablagerungen und Verschlammung am unteren Feldrand. Über eine linienhafte Rillenerosion wurde zudem Material des Oberbodens abgetragen und auf dem Wirtschaftsweg sedimentiert sowie in das nahegelegene Fließgewässer eingetragen.

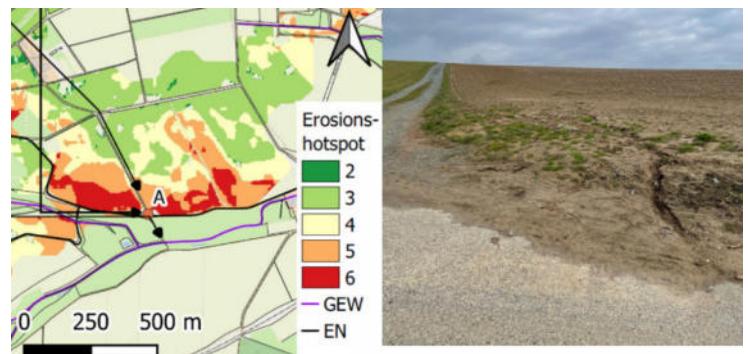


Abbildung 6: Überprüfung der Erosionshotspots im Gelände

Fazit

Die aufgezeigten Unterschiede zwischen den Modellergebnissen der Bodenerosionsgefährdung mit dem lizenzierten und dem Open Data Modell sind insbesondere auf die unterschiedlichen Qualitäten der Eingangsdatensätze sowie deren generelle Verfügbarkeit zurückzuführen. Dieser Aspekt gilt insbesondere für die Daten der Ackerschlagsgeometrien. Für eine erste, grobe Einschätzung der Erosionsgefährdung und Analyse der Erosionshotspots sind frei verfügbare Daten ausreichend. Für detaillierte, weiterführende Untersuchungen oder kleinräumige Skalen werden jedoch weiterhin lizenzierte Daten zur Modellierung der Erosionsgefährdung benötigt. Bei der Datenrecherche wurde zudem festgestellt, dass die Umsetzung der INSPIRE-Richtlinie, welche den kostenfreien Zugang zu Geodaten des öffentlichen Sektors fordert, noch nicht abgeschlossen ist. Daten werden häufig dezentral angeboten und ausschließlich in Form einer visuellen Darstellung zur Verfügung gestellt, was eine professionelle Weiterverarbeitung verhindert.

Analyse des Niedrigwasserverhaltens der Mümling in Hessen

Masterthesis von Laura Kieser
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Bauingenieurwesen



Hintergrund und Veranlassung

Niedrigwasser ist eine Komponente des Abflussregimes eines Fließgewässers. Meteorologische Trockenperioden, charakterisiert durch unterdurchschnittliche Niederschläge, können dazu führen, dass der Durchfluss in einem Fließgewässer zurückgeht und somit Niedrigwasserphasen entstehen. Der zeitlich begrenzt auftretende Wassermangel beeinflusst Lebensräume von Tieren und Pflanzen, ändert die Voraussetzungen für die Trinkwasserversorgung und stellt wirtschaftliche Prozesse vor Herausforderungen. In den schwerwiegenden Folgen, die Niedrigwasserperioden mit sich bringen, liegt die Motivation, eine bessere Kenntnis über niedrigwasserbestimmende Einflüsse zu erlangen.

Dieses übergeordnete Ziel verfolgt diese Arbeit, indem basierend auf einer kennwertbasierten Niedrigwasseranalyse die Auswirkungen von Trockenjahren auf das Abflussverhalten des Fließgewässers Mümling in Hessen untersucht werden. Die aus der Untersuchung hervorgehenden Erkenntnisse werden hinterfragt und niedrigwasserbestimmende Einflussfaktoren diskutiert.

Kennwertbasierte Niedrigwasseranalyse

Wie empfindlich ein Fließgewässer auf anhaltende Trockenperioden reagiert, kann über die Berechnung von Niedrigwasserkennwerten aus Zeitreihen von Pegelmessungen eingeschätzt werden. Diese Methodik wurde in der Arbeit innerhalb des Beobachtungszeitraumes 1980-2018 verwendet, um Besonderheiten im Niedrigwasserverhalten des Fließgewässers Mümling in Hessen herauszuarbeiten. Neben der Möglichkeit durch die Analyse von Niedrigwasserkennwerten besondere Ausprägungen des Niedrigwasserverhaltens eines Fließgewässers hervorzuheben, ermöglichen Niedrigwasserkennwerte den Vergleich zwischen Fließgewässern. Über den durchgeführten Vergleich zwischen dem Niedrigwasserverhalten der Mümling und dem im benachbarten Einzugsgebiet liegenden Fließgewässer Gersprenz konnten selbst auf kleinen, regionalen Skalen unterschiedliche Sensibilitäten gegenüber Trockenphasen festgestellt werden.

Abbildung 7 stellt das saisonale Auftreten von Niedrigwasserphasen an dem Mümling Pegel Hainstadt und dem Gersprenz Pegel Harreshausen gegenüber. Hierzu sind die Auftrittszeitpunkte der jährlichen NM7Q-Werte aufgetragen. NM7Q beschreibt das kleinste gleitende Mittel von sieben aufeinanderfolgenden Tagesdurchflüssen innerhalb eines Jahres.

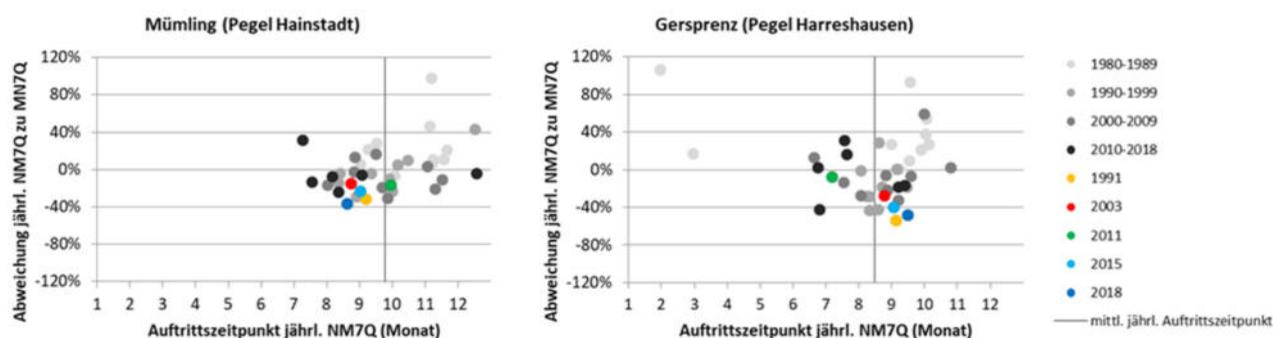


Abbildung 7: Auftrittszeitpunkt jährl. NM7Q am Pegel Hainstadt (EZG Mümling) (links) und am Pegel Harreshausen (EZG Gersprenz) (rechts); farblich hervorgehoben sind definierte Trockenjahre

Neben einer Einschätzung der Saisonalität stellen die Abbildungen die Abweichung der NM7Q-Werte zum langjährigen Mittel MN7Q dar. Somit geben die Abbildungen Auskunft über die Ausprägung einzelner Niedrigwasserjahre. Es ist festzustellen, dass die NM7Q-Werte am Mümling Pegel Hainstadt im

Beobachtungszeitraum nie unter den 0,6-fachen MN7Q-Wert (-40 % Abweichung) fallen. Am Gersprenz Pegel Harreshausen unterschreitet der NM7Q-Wert dagegen in sechs Jahren den 0,6-fachen MN7Q-Wert (-40 % Abweichung). Aus quantitativer Sicht ist die Niedrigwassersituation im Einzugsgebiet der Gersprenz als kritischer einzuschätzen als im Einzugsgebiet der Mümling.

Im Mittel wurde der NM7Q-Wert am Gersprenz Pegel Harreshausen früher beobachtet als am Pegel Hainstadt. Der verzögerte Auftritt von Niedrigwasserphasen im Fließgewässer Mümling konnte durch die gegenüberstellende Betrachtung der Abflussganglinien festgestellt werden. Die Rezessionskurve der Gersprenz zeigt durch schnellere Rückgangsraten ein sensibleres Reaktionsverhalten gegenüber Trockenphasen. Der Gebietspeicher im Einzugsgebiet der Mümling schafft eine robustere Ausgangslage, um den Durchfluss auch in niederschlagsarmen Zeitspannen aufrechtzuerhalten. Diese Einschätzung zu den puffernden Eigenschaften des Gebietes wird auch durch die Berechnung des Baseflow-Index, als Verhältnis zwischen Basis- und Gesamtabfluss, bestätigt. Den Auswertungen zufolge ist der Anteil des Basisabflusses am Gesamtabfluss an den Pegeln der Mümling größer als an den Pegeln der Gersprenz, was folglich ein Indiz für größere Speicherkapazitäten darstellt.

Da in den Abbildungen unterschiedliche Jahre durch verschiedene Grautöne dargestellt sind, lässt sich die Tendenz überprüfen, ob jüngere Niedrigwasserereignisse im Jahresverlauf vor älteren Ereignissen aufgetreten sind. Während diese Entwicklung nicht eindeutig bestätigt werden kann, deuten die Abbildungen darauf hin, dass jüngere Ereignisse niedrigere Abflusswerte verzeichnen als weiter zurückliegende Ereignisse. Dieser Trend konnte durch eine Trendanalyse sowohl mit dem Student-Test als auch mit dem Mann-Kendall-Test als signifikant nachgewiesen werden.

Diskussion der niedrigwasserbestimmenden Einflussfaktoren

Für ein umfassendes Verständnis über die niedrigwassersteuernden Wirkungszusammenhänge werden die Ursachen für das identifizierte stabilere Niedrigwasserverhalten sowie die festgestellten besseren Speicherfähigkeiten des Einzugsgebietes der Mümling gegenüber dem der Gersprenz diskutiert. Hierzu wird der Einfluss von meteorologischen Eingangsgrößen, von Einzugsgebietseigenschaften sowie von Wasserbewirtschaftungsmaßnahmen diskutiert und bewertet.

Basierend auf einer vielseitigen Datenanalyse führt diese Studie zu der Erkenntnis, dass klimatische Einflüsse wie Niederschlagsmangel und Hitze lediglich den Impuls für Niedrigwasserereignisse geben. Die auf kleinen, regionalen Skalen aufgedeckten unterschiedlichen Sensibilitäten gegenüber Trockenperioden bestätigen jedoch die vom Arbeitskreis KLIWA (2018, S. 82) getroffene Aussage, dass die Niedrigwasserentstehung maßgebender von Einzugsgebietscharakteristika und naturräumlichen Gegensätzen beeinflusst wird als von der Klimatologie. Durchlässige, durch Buntsandstein geprägte Untergrundverhältnisse bilden im Einzugsgebiet der Mümling einen Gebietspeicher, der dafür sorgt, dass Niederschlagsdefizite kompensiert und der Durchfluss im Fließgewässer über länger anhaltende Trockenperioden aufrechterhalten werden kann.

Fazit und Ausblick

Die Trockenjahre in der jüngeren Vergangenheit erwecken bereits schrittweise die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit. Dennoch steht die Niedrigwasserproblematik häufig noch im Schatten der Hochwasserproblematik, darf aber insbesondere in Hinblick auf ihre ökologischen Auswirkungen für die aquatischen Lebewesen nicht unterschätzt werden. Die negative Entwicklung von Niedrigwasserabflüssen signalisiert die Relevanz der Thematik und erfordert sowohl im Einzugsgebiet der Mümling als auch im Einzugsgebiet der Gersprenz Reaktionen, die darauf abzielen, die Niedrigwasserentstehung vorzubeugen und im akuten Niedrigwasserfall auftretende Schäden zu minimieren.

Die in dieser Arbeit vorgestellte, umfassende Analyse des Niedrigwasserverhaltens in einer typischen deutschen Mittelgebirgsregion trägt zum allgemeinen Verständnis der niedrigwasserbestimmenden Faktoren bei und markiert Ansatzpunkte, um zukünftig Niedrigwasser regulieren zu können.

Literatur

KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft) (2018): Niedrigwasser in Süddeutschland. Analysen, Szenarien und Handlungsempfehlungen. KLIWA-Berichte, Heft 23. LUBW, BLfU, LfU.

Variantenbetrachtung zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr in Dillenburg

**Masterthesis von Mirjam Lerch
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik**

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie von 2000 hat sich zum Ziel gesetzt, die Längsdurchgängigkeit aller Oberflächengewässer für aquatische Lebewesen wiederherzustellen. Die Dill ist ab der Mündung bereits auf über 30 km durchgängig. Diese Strecke endet am Dillwehr in Dillenburg. Vom Regierungspräsidium Gießen wurde eine Variantenstudie in Auftrag gegeben. Diese soll Möglichkeiten untersuchen, das Dillwehr unter Berücksichtigung der vorliegenden Anforderungen passierbar zu machen, diese gegeneinander abwägen und eine Empfehlung für die am besten geeignete Varianten geben.

Standortgegebenheiten

Bei dem Dillwehr (Abbildung 8) handelt es sich um einen unpassierbaren Absturz mit einer Wasserspiegeldifferenz von ca. 3,4 m. Im Unterstrom befindet sich ein zweites, kleineres Wanderhindernis. Das urban geprägte Umfeld bietet an beiden Ufern nur wenig Raum für Umgestaltungen. Die Ausleitung zu einer Wasserkraftanlage reduziert bei Niedrigwasser den ohnehin geringen Durchfluss; die im Altrecht verankerte Mindestwassermenge reicht für Fischpässe nicht aus. Weiterhin ist eine Störung der Wasserabfuhr ist aufgrund des Hochwasserschutzes nicht zulässig. Die Durchgängigkeit ist für alle autochthonen Arten zu gewährleisten. Dazu gehört die im FFH-Gebiet geschützte leistungsschwache Groppe. Zugleich soll der Lachs in der Dill wiederangesiedelt werden. Die wichtigsten Randbedingungen sind in Abbildung 9 dargestellt.



Abbildung 8: Dillwehr

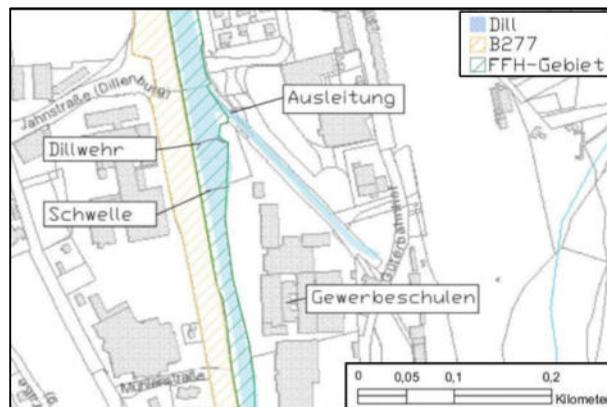


Abbildung 9: Übersichtslageplan des Projektgebiets

Varianten

Aufgrund der großen Wasserspiegeldifferenz und der häufig geringen Durchflüsse kommen viele übliche Fischwanderhilfen am Dillwehr nicht in Frage. Auch sehr teure, verlegungsanfällige oder artenselektive Anlagen werden ausgeschlossen. Aus der Vielzahl von Möglichkeiten zur Errichtung eines Fischpasses werden fünf Varianten entwickelt, die zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit geeignet sind: ein gewässerbreites Raugerinne mit Beckenstrukturen und Niedrigwasserrinne, ein geteiltes Raugerinne aus Beckenstrukturen mit parallel angeordnetem, flächigem Raugerinne, ein Umgehungsgerinne in Riegelbauweise, ein Schlitzpass als technische Fischaufstiegsanlage sowie eine als Raugerinne-Beckenpass ausgeführte Teilrampe. Alle Varianten werden für den Projektstandort ausgearbeitet und grob bemessen.

Bewertung

Um die Varianten miteinander vergleichen zu können, wird ein Bewertungsschema zur Beurteilung der wichtigsten standortspezifischen Gesichtspunkte und Anforderungen erstellt. Den vier Kriterien-gruppen Passierbarkeit, Auffindbarkeit, Bau und Unterhaltung und Belange Dritter werden Bewertungskriterien zugeordnet. Einheitliche Bewertungsmaßstäbe skalieren verschiedene Grade der Erfüllung dieser Kriterien (exemplarisch in Abbildung 10). Auf einer dreistufigen Skala entspricht grün 'geeignet', gelb 'bedingt geeignet' und rot 'ungeeignet'. Aus dieser Bewertung ergibt sich ein intuitiv verständliches, differenziertes Gesamtbild der Vorzüge und Nachteile aller Varianten (Abbildung 11). Die Gleichsetzung der Farben mit Punktwerten (grün = 3 Punkte, gelb = 2 Punkte, rot = 1 Punkt) ermöglicht den Vergleich der Varianten insgesamt wie auch auf der Ebene der Kriteriengruppen.

Bewertungskriterium Fischabstieg:	
	Fischabstieg möglich
	Kombinierbar mit Fischabstieg
	Kein Fischabstieg möglich

Abbildung 10: Bewertungsmaßstäbe Fischabstieg

Kriterium	Fischabstieg
Variante 1	
Variante 2	
Variante 3	
Variante 4	
Variante 5	

Abbildung 11: Variantenbewertung Fischabstieg

Variantenentscheid

Die Bewertung aller Varianten führt mit gleich hoher Punktezahl zu der Priorisierung des geteilten Raugerinnes und des Umgehungsgerinnes. Für die Wahl einer Vorzugsvariante werden die wichtigsten Bewertungskriterien der beiden Varianten nochmals untersucht, um die Unterschiede, die durch die dreistufige Skala nicht ausreichend abgebildet werden, heraus zu stellen.

Als Vorzugsvariante wird das geteilte Raugerinne empfohlen (Abbildung 12). Dabei werden am linken Ufer aus Natursteinen Beckenstrukturen gebildet. In diesen werden die Wassertiefen erhöht und die Fließgeschwindigkeiten verringert. So entsteht bereits bei geringen Durchflüssen ein Wanderkorridor für das gesamte Artenspektrum. Am rechten Ufer wird ein flächiges Raugerinne angeordnet. Dieses führt erst bei höheren Durchflüssen Wasser und entlastet dann die Beckenstrukturen. Neben dem Fischaufstieg ist auch der Fischabstieg und die Auffindbarkeit des Einstiegs gewährleistet, es entstehen verschiedene Fließstrukturen und ein naturnahes Landschaftsbild.

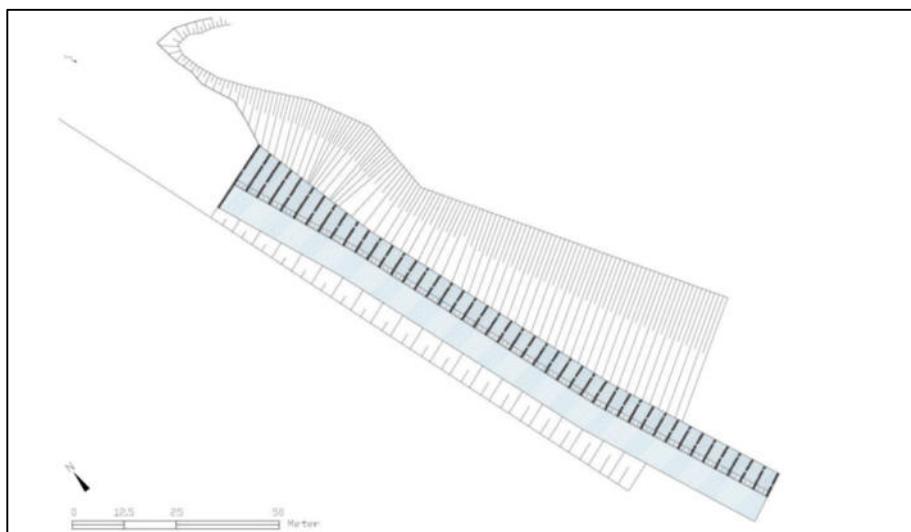


Abbildung 12: Lageplan Vorzugsvariante: Geteiltes Raugerinne

Zusammenstellung und Empfehlungen für Maßnahmen zum Schutz vor Starkregenereignissen im Bestand von Ortslagen

Masterthesis von Angelika Madloch
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Thema und Motivation

Starkregenereignisse sind durch ihr lokal begrenztes Auftreten, sowie sehr hohe, in kurzer Zeit fallende Niederschlagsmengen charakterisiert. Die Auswertung von Radar-Daten kann für einige Teile Deutschlands bereits eine Zunahme extremer Wetterereignisse belegen. Problematisch ist, dass laut einer Befragung des Deutschen Instituts für Urbanistik mehr als die Hälfte der deutschen Kommunen keinerlei Pläne in Bezug auf Starkregenvorsorge haben. Da kollabierende Infrastrukturen und massive Sach- oder gar Personenschäden jedoch keine Seltenheit sind, besteht dringender Handlungsbedarf.

Um auf die Auswirkungen von Starkregenereignissen vorbereitet zu sein, ist es essentiell die individuellen Gefahrenstellen innerhalb von Ortslagen zu identifizieren und entsprechende Schutzkonzepte zu entwickeln. In Anbetracht des Gefahrenpotenzials stellt sich also die Frage welche konkreten Handlungsmöglichkeiten Kommunen haben, um die Auswirkungen von Starkregenereignissen in Zukunft möglichst gering zu halten. Im Rahmen der Masterthesis wurden Starkregenschutzmaßnahmen zusammengetragen und Empfehlungen zur Nachrüstbarkeit im Bestand von Ortslagen ausgearbeitet.

Um die Auswahl und Anwendung von Maßnahmen der Überflutungsvorsorge an einem praktischen Beispiel darzustellen, wurde eine Fallstudie in der hessischen Gemeinde Bürstadt-Bobstadt durchgeführt. Im Rahmen der Fallstudie wurde das Vorgehen von der Gefährdungsanalyse bis zum fertigen Maßnahmenkonzept dargelegt.

Starkregenschutzmaßnahmen

Die Planung von Starkregenschutzmaßnahmen muss als kommunale Gemeinschaftsaufgabe verstanden werden und erfolgt im Rahmen der Überflutungsvorsorge. Abbildung 13 gibt einen Überblick, in welche Kategorien die Maßnahmen aufgeteilt werden können. Die Thesis bietet eine Zusammenfassung möglicher Schutzmaßnahmen für jede Kategorie und bewertet diese hinsichtlich ihrer Umsetzbarkeit im Bestand von Ortslagen anhand von praktischen Maßnahmensteckbriefen.

Die Herausforderungen bei der Nachrüstbarkeit von Maßnahmen im Bestand bestehen insbesondere bei den infrastruktur- und flächenbezogenen Maßnahmen. So führen geringe Platzverhältnisse zu Flächennutzungskonflikten, die mit zunehmender Verdichtung einer Ortslage zunehmen. Die Schwierigkeit besteht also häufig darin, die Interessen und Ansprüche aller beteiligten Akteure zu bündeln und einen gemeinsamen Konsens zu finden. Hierfür ist eine gute Kommunikation aller Beteiligten und eine interdisziplinäre Planung notwendig.



Abbildung 13: Maßnahmenkategorien der Überflutungsvorsorge

Fallstudie Bobstadt

In der Gemeinde Bobstadt wurden zuletzt in den Jahren 2018 und 2019 zahlreiche Schäden nach Starkregenereignissen verzeichnet. Um die Problematik zu untersuchen und ein individuelles Maßnahmenkonzept zu entwickeln, wurde auf hydrodynamische Kanalnetzrechnungen und Überflutungssimulationen der Ingenieurgesellschaft UNGER Ingenieure aus Darmstadt zurückgegriffen. Ergänzend konnten Informationen aus einer Anwohnerbefragung, sowie aus Ortsbegehungen hinzugezogen werden.

Die Überflutungssimulationen wurden mit vier Berechnungsvarianten ausgeführt, um deren Qualität für eine Gefährdungsanalyse untersuchen und bewerten zu können. Abbildung 14 zeigt beispielhaft das Ergebnis einer gekoppelten Überflutungssimulation mit einem Euler Modellregen (Dauer 60 Minuten, Wiederkehrintervall 30 Jahre). Es handelt sich um einen Bereich in Bobstadt, der schon häufig durch Starkregenereignisse Schaden genommen hat. Wie die Auswertung der Simulationen gezeigt hat, sollte eine Gefährdungsanalyse immer auf Basis mehrerer Berechnungsvarianten erfolgen, da jede Berechnung nur eine Annäherung an die Realität darstellt. Es ist demzufolge wichtig zu verstehen welche Annahmen bei einer bestimmten Berechnungsvariante getroffen werden und welche Konsequenzen dies für die Aussagefähigkeit der Ergebnisse hat. Eine wesentliche Erkenntnis besteht darin, dass durch die Kombination verschiedener Varianten ein Ereignishorizont aufgespannt wird, in dem sich die Realität widerspiegeln kann.

Das Fallbeispiel Bobstadt hat gezeigt, dass es für die Zukunft eine Herausforderung bleibt, die realitätsnähe von Überflutungssimulationen weiter zu verbessern. Hierbei sollte jedoch immer der Aufwand dem Nutzen gegenübergestellt werden. So geht z.B. eine detailgetreue Anpassung von digitalen Geländemodellen mit einem Aufwand einher, der in der Praxis weder zeitlich noch wirtschaftlich umzusetzen ist. In Anbetracht dessen ist es meist zielführender tiefergehende Detailbetrachtungen nur für kleine, besonders Gefährdete Gebiete durchzuführen.

Fazit

Das Nachrüsten von Starkregenschutzmaßnahmen im Bestand erfordert von Kommunen ein hohes Maß an Aufklärung und interdisziplinärer Zusammenarbeit. Die in der Masterthesis durchgeführten Überflutungssimulationen bieten praktische Erkenntnisse, welche Vorgehensweisen für Gefährdungsanalysen aussagekräftig und zielführend sind. Die ausgearbeiteten Maßnahmensteckbriefe können von Kommunen als Hilfe herangezogen werden, um entsprechende Anpassungsstrategien hinsichtlich wachsender Herausforderungen durch Starkregenereignisse zu entwickeln.

Ergänzend für die Zukunft ist es wichtig, die Aspekte des Überflutungsschutzes bereits bei der Neuplanung urbaner Gebiete miteinzubeziehen. Ein wichtiger Kerngedanke, der sich aktuell immer mehr etabliert, ist die wassersensitive Stadtentwicklung. Hierbei wird durch klimaanpassende Maßnahmen eine größere Resilienz gegenüber Starkregenereignissen und anderen extremen klimatischen Bedingungen erzielt. Nationale und internationale Fallbeispiele zeigen bereits die Wirksamkeit dieses Gedankens und sollten das Vorbild für die wassersensitive Stadt von morgen sein.

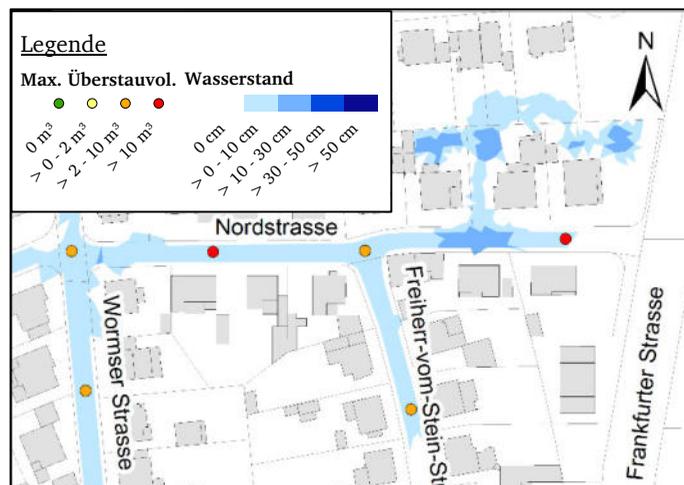


Abbildung 14: Gekoppelte Überflutungssimulation eines Schadenspunktes in Bobstadt

Einfluss unterschiedlicher Niederschlagsdaten auf hydrologische Modellergebnisse am Beispiel des Gersprenz-Einzugsgebietes in Hessen

Masterthesis von Sören vom Ende
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Einleitung

Zur Beantwortung hydrologischer Fragestellungen, wie etwa bei der Vorhersage von Hochwasserrisiken, spielen Niederschlag-Abfluss-Modelle eine zentrale Rolle. Die Verlässlichkeit des vorhergesagten Abflussverhaltens hängt in hohem Maße von der Güte der Eingangsdaten ab. In diesem Zusammenhang ist der Niederschlag als zentraler Parameter hervorzuheben. Es ist wichtig, dass er sowohl quantitativ als auch in seinem räumlichen Auftreten mit hoher Genauigkeit erfasst wird. In der Praxis kommen in der Regel Niederschlagsdaten zum Einsatz, deren Messung durch punktuelle Einzelstationen erfolgt. In den vergangenen Jahren haben jedoch alternative Messmethoden wie die RADAR-Technologie zunehmend an Bedeutung gewonnen. Damit verbunden ist die Hoffnung einer detaillierteren Darstellung der Niederschlagsverteilung.

Die Anwendung solcher Niederschlagsdaten im Rahmen der hydrologischen Modellierung ist nach wie vor die Ausnahme. Dies hängt mit der geringen Datenverfügbarkeit im internationalen Kontext und dem Fehlen allgemein gültiger Aufbereitungsprozesse der Rohdaten zum Einsatz in Modellierungsprogrammen zusammen.

Um den Einfluss unterschiedlicher Niederschlagsdaten auf hydrologische Modellergebnisse zu identifizieren, wurden am Beispiel des Gersprenz-Einzugsgebietes in Hessen (Abbildung 15) diverse Abflussberechnungen, sowohl anhand von Punkt- als auch Radarniederschlagsdaten, durchgeführt und deren Ergebnisse miteinander verglichen. Im Rahmen der Untersuchung wurde zusätzlich zwischen Kurzzeit- und Langzeitsimulationen unterschieden.

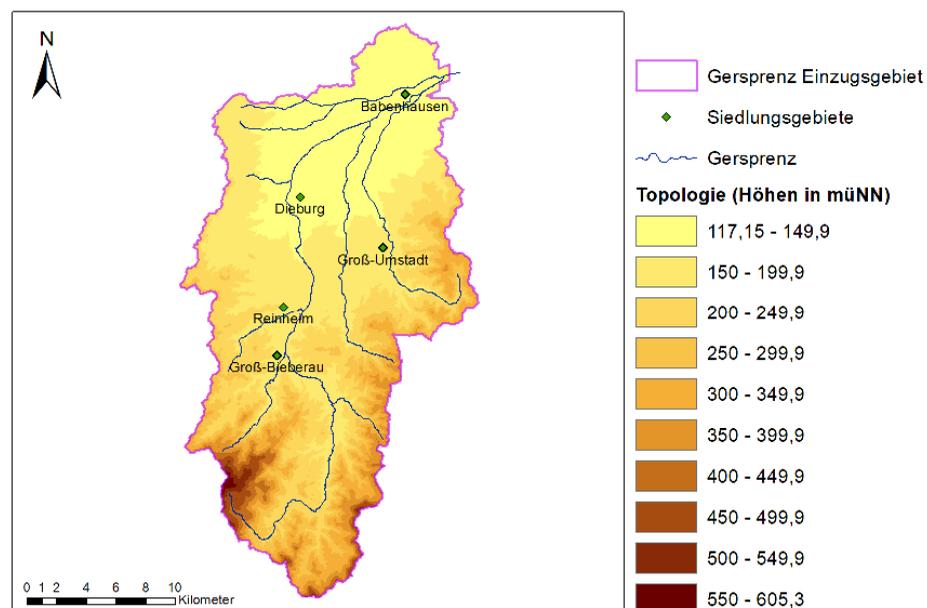


Abbildung 15: Darstellung des Einzugsgebietes der Gersprenz bis zum Pegel Harreshausen

Datengrundlage und Modell

Für die Abflussberechnung wurde ein hydrologisches Modell verwendet, das mittels der Software HEC-HMS erstellt wurde. Die stationsbasierten Niederschlagsdaten wurden anhand der Thiessen-Polygon-Methode regionalisiert, um das Gebietsmittel des Niederschlags für das Gersprenz-Einzugsgebiet zu bestimmen. Zur Verwendung des radarbasierten Niederschlags kamen die RADKLIM-Daten des Deutschen Wetterdienstes zum Einsatz. Vor Verwendung der Daten in HEC-HMS bedurfte es deren Aufbereitung mittels eines Geoinformationssystems. Diese umfasste eine Koordinatentransformation sowie eine Reduzierung des deutschlandweiten Datenrahmens auf das Einzugsgebiet. Das Resultat

der hydrologischen Modellierung war eine Abflussganglinie, die mit dem beobachteten Abfluss aus dem Einzugsgebiet verglichen und mittels geeigneter Gütekriterien charakterisiert wurde.

Ergebnisse der hydrologischen Modellierung

Grundsätzlich ließ sich in Bezug auf die Modellergebnisse der Ereignissimulationen feststellen, dass beide Niederschlagsdaten zu sehr guten Resultaten führen. So wiesen die Gütekriterien nur geringe Abweichungen auf, die sich leicht in verbesserten Werten für das Radarmodell äußerten. Es ist möglich, dass sich räumlich und zeitlich begrenzt auftretende Variabilität des Niederschlags in den Abflussganglinien widerspiegelt. Ein entsprechender Einfluss auf die Modellergebnisse ist anhand den Abflussganglinien für eines der untersuchten Niederschlagsereignisse in Abbildung 16 dargestellt. In einem solchen Fall bieten radargestützte Niederschlagsdaten den Vorteil, die Variabilität der Eingangsdaten besser zu berücksichtigen und die Abweichungen in der Abflussganglinie zu minimieren.

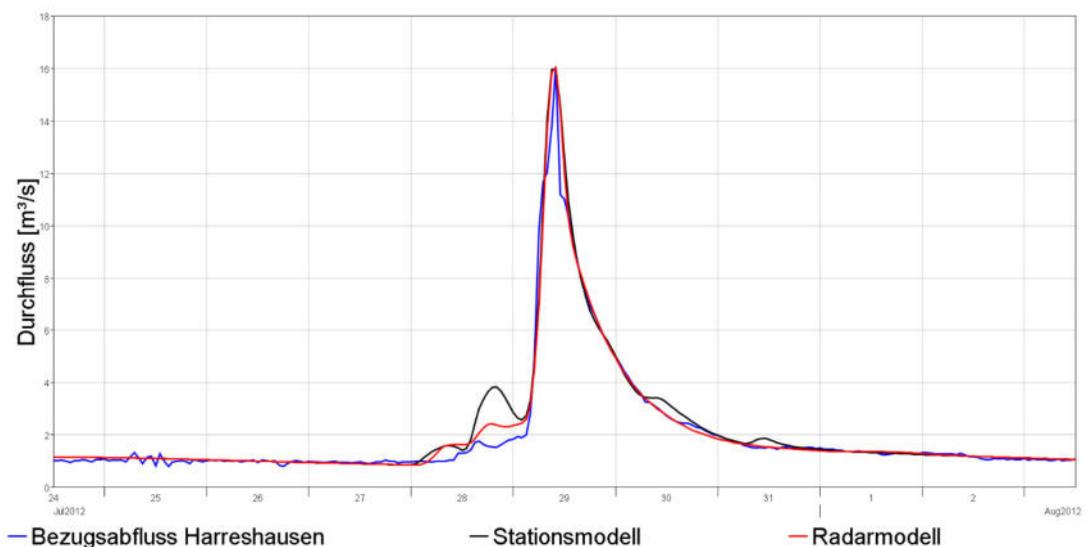


Abbildung 16: Vergleich der Abflussganglinien für ein Niederschlagsereignis im Juli 2012

Die Ergebnisse der Langzeitsimulation unterschieden sich zu denen der Ereignissimulation stark. Die Modellgüte lag grundsätzlich deutlich tiefer. Die dafür verantwortlichen Ursachen traten unabhängig von den Niederschlagseingangsdaten auf, sodass deren Vergleich nur bedingt möglich war. Aus hydrologischer Sicht wiesen die Ergebnisse jedoch zumindest darauf hin, dass die Verwendung von Radardaten nur einen geringen Nutzen im Vergleich zu punktuellen Niederschlagsdaten hat.

Fazit und Ausblick

In Bezug auf die Ereignissimulation ist festzuhalten, dass die Verwendung von Radardaten eine geeignete Alternative zu konventionellen Niederschlagsmessungen darstellt. Positiv ist in diesem Zusammenhang zudem der angemessene Arbeitsaufwand für die Datenaufbereitung aufgrund des geringen Datenumfanges zu erwähnen. Eine abschließende Bewertung der Ergebnisse der Langzeitsimulation war im Rahmen dieser Masterthesis hingegen leider nicht eindeutig möglich. Für weitere Untersuchungen ist daher die Notwendigkeit weiterer hydrologischer Langzeitsimulationen hervorzuheben. Durch Erhöhung der Modellgüte ergeben sich eventuell neue Erkenntnisse, die für einen Vergleich der unterschiedlichen Niederschlagsdaten hilfreich sein können. Mit Gewissheit kann hingegen festgehalten werden, dass die Verwendung von Radardaten bezüglich der Langzeitsimulation aus prozesstechnischer Sicht nicht zu empfehlen ist. Als Gründe sind hierfür insbesondere der arbeitsintensive Aufbereitungsprozess sowie die längere Berechnungszeit zu nennen.

Berechnung von Überflutungsflächen für den Stadtbach in Heppenheim und Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu einer vorliegenden Starkregengefahrenkarte



Bachelorthesis von Ameli Brecht
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Einleitung

Die Gefahr von Überschwemmungen aufgrund von Hochwassern oder Starkregen nimmt besonders durch den Klimawandel immer weiter zu. Um solchen Ereignissen vorzubeugen und adäquate Schutzmaßnahmen zu entwickeln, werden europaweit Hochwassergefahrenkarten (HWGK) erstellt, welche die zu erwartenden Überflutungsflächen für Hochwasser mit bestimmten Wiederkehrintervallen darstellen. Zunehmend kommen auch Starkregengefahrenkarten (SRGK) zum Einsatz, die durch Starkregen zu erwartende Überflutungsflächen für bestimmte Ereignisse darstellen. Beide Karten zeigen im Ergebnis Überflutungsflächen, verwenden aber unterschiedliche Herangehensweisen zu deren Berechnung. Um festzustellen, inwieweit die Überflutungsflächen auf beiden Karten übereinstimmen und in welchen Punkten sie sich unterscheiden, wurde in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro DAHLEM ein Vergleich anhand des Einzugsgebietes des Stadtbachs in Heppenheim (Abbildung 17) vorgenommen. Dafür wurde im Rahmen dieser Arbeit eine Hochwasserberechnung für den Stadtbach durchgeführt und deren Ergebnisse mit einer vorliegenden SRGK des Ingenieurbüros DAHLEM verglichen. Berechnet und verglichen wurden die Überflutungsflächen für drei verschiedene Ereignisse: ein seltenes ($T=30a$), ein außergewöhnliches ($T=100a$) und ein Extremereignis.



Abbildung 17: Verlauf des Stadtbachs in Heppenheim und Lage des Betrachtungsgebietes

Datengrundlage und Modelle

Für die Berechnung der Überflutungsflächen wurde ein gekoppeltes hydrologisch-hydraulisches-Modell verwendet (Abbildung 18). Das hydrologische Modell wurde mit der Software HEC-HMS erstellt. Mit diesem Modell wurde eine Niederschlags-Abflussberechnung durchgeführt, wodurch für die

Teileinzugsgebiete im oberen Bereich des Betrachtungsgebietes Abflussganglinien ermittelt wurden. Zur Beregnung des Modells wurden die entsprechenden KOSTRA-Niederschlagsdaten für einen 60-minütigen Regen verwendet, für die Ermittlung der Abflussbildung und -konzentration wurde das SCS-Verfahren angewandt.

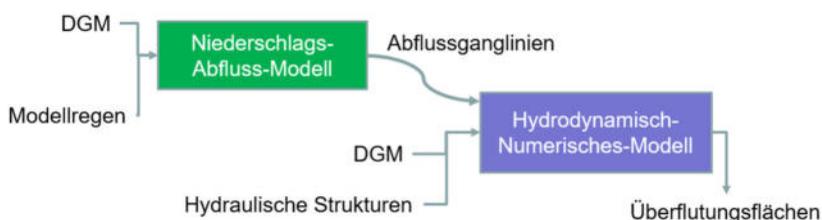


Abbildung 18: Schema und Komponenten des gekoppelten hydrologisch-hydraulischen Berechnungsmodells

Die resultierenden Abflussganglinien dienten als Eingangswerte für das hydraulische Modell. Dieses wurde als 2D-hydrodynamisch-numerisches Modell mit der Software HEC-RAS erstellt. Mittels des hydraulischen Modells wurde aus den Abflussganglinien der Ablauf der Hochwasserwelle im Gewässer berechnet und daraus resultierende Überflutungsflächen ermittelt. Hierbei wurden Strukturen im Gewässerlauf (Durchlässe und verdolte Abschnitte), Rauheitsbeiwerte sowie Fließhindernisse (z.B. Gebäude) an den Ufern des Stadtbachs berücksichtigt.

Ergebnisse und Vergleich

Die Ergebnisse der Hochwasserberechnung wurden für jedes Ereignis mit den jeweils vorliegenden SRGK verglichen (Abbildung 19). Dabei wurde deutlich, dass die Überflutungsflächen für ein seltenes und ein außergewöhnliches Ereignis weitestgehend übereinstimmen. Stellenweise wurden Unterschiede sichtbar, wie etwa gewässerunabhängige Überflutungsflächen, die aufgrund der Methodik nur auf der SRGK sichtbar waren. Generell zeigte sich die Tendenz, dass die Überflutungsflächen auf der SRGK eine größere Ausdehnung und höhere Wasserstände zeigten als die auf der HWGK. Diese Tendenz war in den Ergebnissen für das Extremereignis noch deutlicher sichtbar, weshalb HWGK und SRGK hier größere Unterschiede aufwiesen.

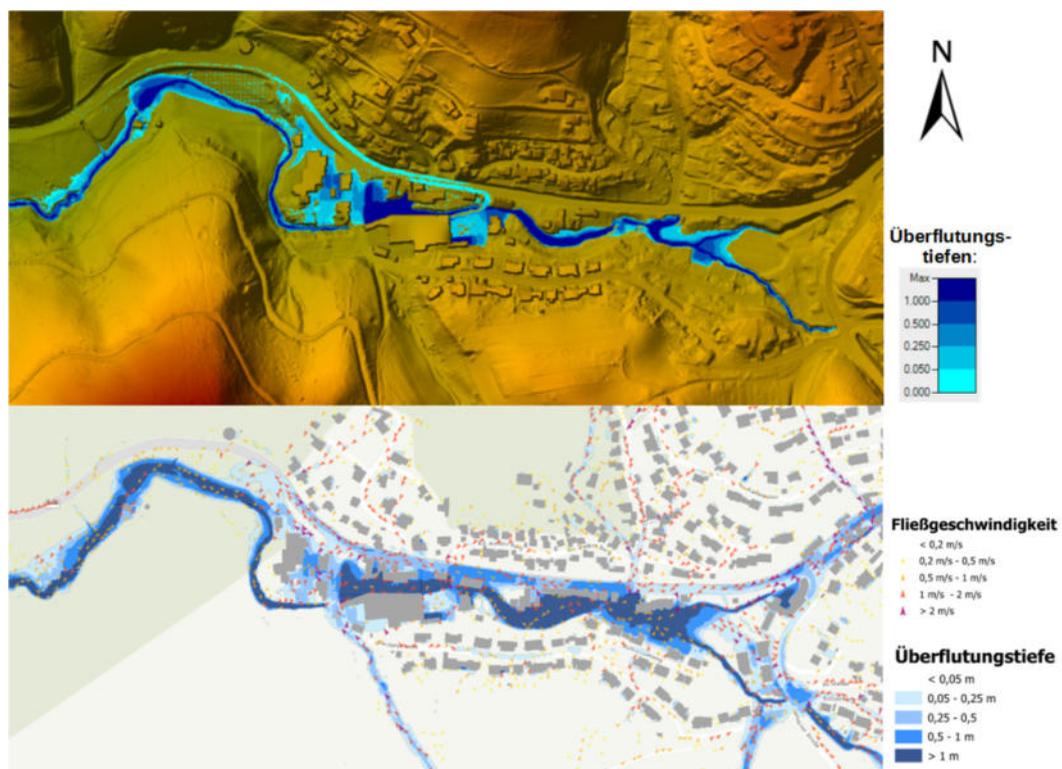


Abbildung 19: Überflutungsflächen für ein außergewöhnliches Ereignis ($T=100a$). Oben: eigene Berechnungsergebnisse für HWGK, unten: SRGK des Ingenieurbüros DAHLEM

Fazit

Im Rahmen der Arbeit konnte gezeigt werden, dass die gewässernahen Überflutungsflächen des Stadtbachs auf HWGK und SRGK weitestgehend übereinstimmen. Da für die SRGK tendenziell größere und zudem auch gewässerunabhängige Überflutungsflächen ermittelt wurden, ist diese für den Überflutungsschutz und die Planung präventiver Maßnahmen im Einzugsgebiet des Stadtbachs relevanter. Welche der beiden Karten realistischere Überflutungsflächen zeigt, kann aus den Ergebnissen nicht geschlossen werden, da Vergleichsdaten fehlen. Für eine Verallgemeinerung der Erkenntnisse und deren Anwendung auf andere Flusseinzugsgebiete sind daher weitere Untersuchungen notwendig.

Maßnahmen zum urbanen Wasserressourcenmanagement als Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels

**Bachelorthesis von Hannah Leonhard
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung**

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung

Der Klimawandel beeinflusst aufgrund zunehmender Hitze und Trockenheit sowie durch häufigere und kräftigere Starkregenereignisse mit möglichen Überflutungen unsere Städte. Ein Großteil der Bevölkerung lebt in Städten (50 % weltweit und bis zu 75 % europaweit), woraus insbesondere Risiko- und Gefahrenpotenziale in urban geprägten Bereichen resultieren. Dies stellt sowohl die Bevölkerung als auch das Wasserressourcenmanagement und die Stadtplanung vor die Herausforderung, mittels Anpassung jene Auswirkungen zu kontrollieren, die durch bereits unumkehrbare Folgen entstehen und denen sich verschiedene Akteure gemeinsam stellen müssen. Welche potenziellen Chancen, als auch Nutzungskonflikte zwischen urbanem Wasserressourcenmanagement und der Klimawandelfolgenanpassung bestehen, wird anhand eines Fallbeispiels untersucht. Mit dem Klimaanalyse-Tool ENVI-met werden wassersensible Maßnahmen auf ihre synergetische Wirksamkeit hinsichtlich der Hitze Problematik geprüft.

Die Thesis entstand in Zusammenarbeit mit INFRASTRUKTUR & UMWELT Professor Böhm und Partner, durch die das Untersuchungsgebiet und die Software gestellt wurden.

Theoretisch konzeptionelle Analyse

Die theoretische Aufbereitung der Thematik erfolgt literaturbasiert und stellt die Klimawandelfolgen in den urbanen Kontext. Durch den in Städten veränderten Wasserhaushalt besteht hier eine besonders große Vulnerabilität gegenüber einhergehenden Gefahren im Zuge des Klimawandels. Fokussiert werden die Auswirkungen auf wasserwirtschaftliche Komponenten wie beispielsweise verschärfte Niederschläge auf großflächig versiegelten Bereichen und hohe Abflussspitzen bei geringer Verdunstungs- und Versickerungsrate vor Ort.

Im Hinblick auf nachhaltige Konzepte zur Steigerung von Resilienz ist die wassersensible Stadtentwicklung eine Lösungsstrategie mit holistischem Ansatz. Im Gegensatz zu dem bisherigen Paradigma einer möglichst raschen Ableitung von Regenwasser in die Kanalisation, verfolgt die wassersensible Stadtentwicklung das Ziel, dezentrale Lösungen zur Verdunstung, Versickerung und Abflussminderung umzusetzen. Das Regenwasser wird verstärkt gesammelt, gespeichert und für weitere Nutzung verfügbar gemacht. In Abbildung 20 ist der schematische Aufbau einer solchen Schwammstadt dargestellt und wie vor allem durch die Kopplung von blauer und grüner Infrastruktur effektiv und flächensparend eine Umsetzung erfolgen kann. Die wassersensiblen Ziele werden durch No-Regret-Maßnahmen angestrebt. Deren Wirkungsfelder liegen im Bereich, die Komponenten des Wasserkreislaufes wieder zu natürlichen Verhältnissen zurück zu führen, und haben gleichzeitig synergetische Auswirkungen, da durch städtische Vegetation auf der einen und Entsiegelung sowie Wasserrückhalt auf der anderen Seite, der eintretende Verdunstungskühlungseffekt auch der Hitze Problematik entgegenwirkt.

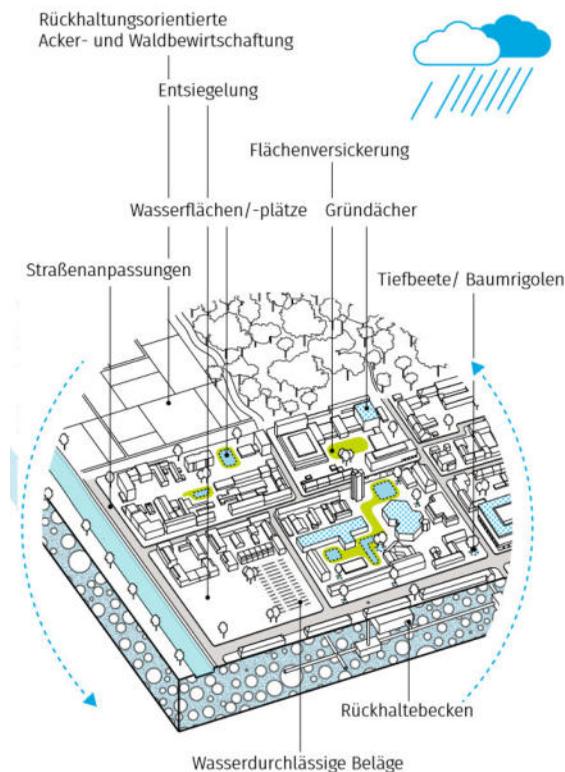


Abbildung 20: Die Schwammstadt (SAMUWA 2016, S. 24)

Empirische Analyse über die Software ENVI-met

Bei dem Untersuchungsgebiet handelt es sich um ein ca. 20 ha großes Gebiet in Zittau, Sachsen, das sich durch eine lockere Bebauung auszeichnet. Zuvor wurden wassersensible Maßnahmen herausgearbeitet und steckbriefartig zu einem Katalog zusammengestellt. Aus diesem werden anhand der Machbarkeit im Gebiet Einzelmaßnahmen ausgewählt und anschließend thematisch gruppiert. Besonders der synergetischen kühlenden Wirkung der Verdunstungsmaßnahmen wird eine Bedeutung beigemessen. Dabei entstehen zwei Maßnahmenpakete: „Wirkungsstark“ und „kosteneffizient“. Für die Simulation können so zwei Varianten des Modells erstellt und anhand dieser, verschiedene Aspekte wie Flächenbedarf oder Kostenfaktoren gegenübergestellt werden.

Mit der Software ENVI-met finden die digitale Konzeptionierung des Modell Set-Ups und die Modellierung der Planungsszenarien statt. Sowohl natürliche als auch anthropogene Umweltstrukturen wie Vegetation, Gebäude, Straßen und Böden werden in einem dreidimensionalen Raumgitter modelliert und analysiert. (Bruse et al. 2014; Bruse et al. 2003, S. 403). Dafür stehen mehrere Benutzeroberflächen zur Verfügung. Als Output wird das Makroklima im Quartier im diurnalen Turnus von 24 h berechnet und unterliegt den Gesetzen der Thermo- und Hydromechanik. Hauptsächlich betrachtete Parameter sind Windgeschwindigkeit und -richtung, Lufttemperatur und Feuchtigkeit sowie Turbulenzen, Strahlung sowie Gas- und Partikeldispersion.

Ergebnisse

Aussagen zu potentiellen Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen werden anhand der Auswertungen der Simulationsdurchläufe von Variante 0 (Ist-Zustand ohne Maßnahmenimplementierung), Variante 1 (kosteneffizient) und Variante 2 (wirkungsstark) getroffen.

Alle Varianten haben die charakteristische Verteilung von relativer Wärme in bebauten Bereichen und die kältesten Temperaturen über Freiflächen, Vegetation und Wasserflächen gemein. Welche Änderungen sich tatsächlich eingestellt haben, wird im Variantenvergleich deutlich. In Abbildung 22 sind die Ergebnisse der Variante 1, und in Abbildung 21 die der zweiten Variante dargestellt, welche jeweils mit dem Output des Ist-Zustands verschnitten werden. Dabei wurden die Randbedingungen berücksichtigt, weshalb sich die Betrachtung nur auf den farbig dargestellten Teil bezieht.

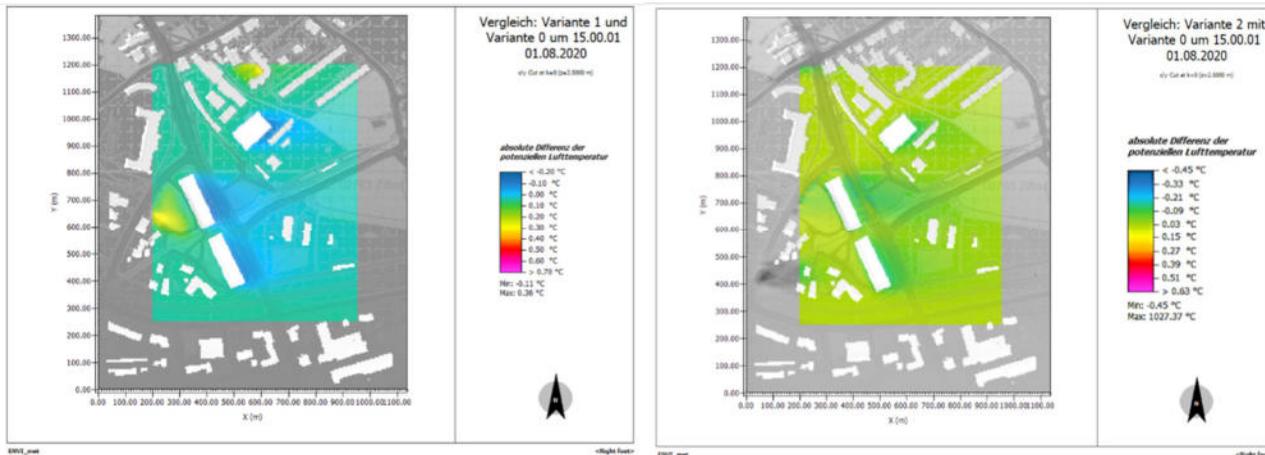


Abbildung 21: Variante 1 vs. Variante 0 (15:00) Abbildung 22: Variante 2 vs. Variante 0 (15:00)

Bei beiden Maßnahmen sind eintretende Temperaturunterschiede zu verzeichnen, die bei der wirkungsstarken Variante 2 auch größer ausfallen. In Bezug auf wirksame Hitzeanpassung sind diese jedoch zu gering, denn der gesamte Temperaturbereich des Gebiets wird als mäßige Wärmebelastung eingestuft (DWD) und kann nicht in eine niedrigere Belastungskategorie gebracht werden. Die Temperaturverteilung wird hier maßgeblich durch Geografie und lokale Windsysteme beeinflusst. Je dichter die Bebauung, desto stärker wird eine Zirkulation gestört, sodass sich Luft stauen und erhitzen kann. Für das Untersuchungsgebiet gilt, dass viele Freiflächen und Grünanlagen bereits einen Luftaustausch ermöglichen und klimatologisch kaum Verbesserungspotentiale durch zusätzliche Vegetation und Entsigelung bestehen. Im Hinblick auf starke Extremwetterereignisse in der Region ist aus hydrologischer Sicht eine Anpassung jedoch sehr sinnvoll. Für die Bewertung der Maßnahmenpakete liegt der Fokus also auf den wasserwirtschaftlichen Auswirkungen. Ohne Berücksichtigung der Effizienz von Verdunstung, fällt die Variante „wirkungsstark“ durch kosten- und wartungsintensive Inhalte negativ ins Gewicht. Deshalb überwiegt in der finalen Entscheidung der Kosten-Nutzen-Faktor, der gerade für kleinere Kommunen nicht außer Acht zu lassen ist. Denn neben Konkurrenz in Flächenplanung und -nutzung besteht das größte Hemmnis bei der Umsetzung in der Investition.

Ausblick

Anhand der Fallstudie lassen sich Eingrenzungen hinsichtlich Gebietsgröße und -eignung im Sinne potenzieller Verbesserungsmöglichkeiten treffen. Für hydrologische Fragestellungen sind klassische Wasserhaushaltsmodelle nicht zu ersetzen und ENVI-met vielmehr in der Rolle eines ergänzenden Analyseinstruments. Es können positive oder negative Wirkungen hinsichtlich der Wärmebelastung identifiziert und in die Untersuchung mit aufgenommen werden, um ganz nach dem Prinzip der wassersensiblen Stadtentwicklung, die Bewertung, Planung und Umsetzung auf gekoppelten und interdisziplinären Anwendungen aufzubauen. Die Kopplung blauer und grüner Infrastruktur ist ein Beispiel für grenzüberschreitende Zusammenarbeit in Disziplin und auch kommunalem Raum. Darüber hinaus wird mittels Zunahme von Vegetation in städtischen Räumen die Aufenthaltsqualität durch aufgewertete Lebensräume und die Biodiversität in Städten gefördert.

Literatur

- Bruse, D., Bruse, M. & Simon, H. (2014): ENVI_met. decoding urban nature. Essen: ENVI_MET GmbH. Online verfügbar unter <https://www.envi-met.com/de/>, zuletzt geprüft am 10.05.2021.
- DWD: Wetter- und Klimalexikon. Hitzewelle. Deutscher Wetterdienst. Online verfügbar unter <https://www.dwd.de/DE/service/lexikon/Functions/glossar.html?lv2=101094&lv3=624852>, zuletzt geprüft am 21.07.2021.
- SAMUWA (2016): Wassersensible Stadt- und Freiraumplanung und Extremwetter. Handlungsstrategien und Maßnahmenkonzepte zur Anpassung an Klimatrends. Unter Mitarbeit von Deister, L., Brenne, F., Stokman, A. und Henrichs, M. Hg. v. Universität Stuttgart.

Drucksignaturen im Nachlauf von Zylindern unterschiedlichen Durchmessers

Bachelorthesis von Daniel Olivier Weidler
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung

Querbauwerke zerschneiden das Ökosystem eines Gewässers und verhindern damit oft die Durchgängigkeit für die aquatische Fauna. Um dem entgegenzuwirken, werden sogenannte Fischaufstiegs- und Abstiegsanlagen gebaut, welche wandernden Fischen die Überwindung dieser Barrieren ermöglichen. Bei deren Planung sind verschiedene hydrodynamische Aspekte zu berücksichtigen, um sowohl die Auffindbarkeit als auch die Passierbarkeit zu gewährleisten. Aufgrund dieser Forderungen wird unter anderem untersucht, welche hydraulischen Reize Fische wahrnehmen und wie diese genutzt werden können, um Fische gezielt zu leiten.

Um die Sinneswahrnehmung von Fischen in der Strömung besser zu verstehen, wurden an der Technischen Universität Tallinn (TalTech) fischförmige Messsonden entwickelt, welche durch verbaute Drucksensoren das Seitenlinienorgan eines Fisches nachahmen sollen. Da Fische hinter umströmten Zylindern ein bestimmtes, reproduzierbares Verhalten zeigen, das „Kármán Gaiting“, wurde der Nachlauf in vielen Studien näher untersucht. So soll mit dieser Thesis überprüft werden, ob sich Drucksignaturen hinter Zylindern unterschiedlicher Durchmesser mit der vom Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik der TU Darmstadt bereitgestellten Fischesinnessonde erfassen lassen.

Methodik und Versuchsaufbau

Vor der Versuchsdurchführung wurde eine Literaturrecherche durchgeführt, um relevante hydrodynamische Grundlagen, Kennzahlen und Eingangsgrößen, insbesondere mit Augenmerk auf die kármán'sche Wirbelstraße, für die Versuche zu bestimmen. Zudem wurde die aktuelle Literatur zum „Kármán Gaiting“ von Fischen hinter umströmten Zylindern zusammengefasst und relevante Informationen für den späteren Versuchsaufbau und die Erstellung des Messrasters zusammengetragen.

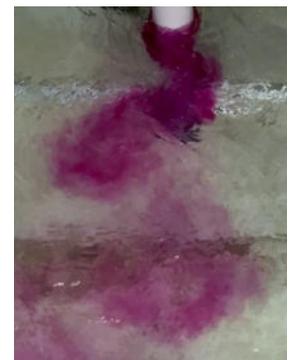
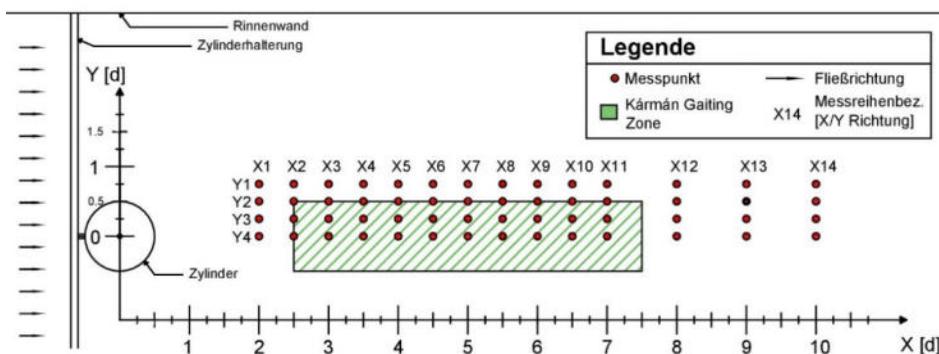


Abbildung 23: Darstellung des Messrasters bezogen auf den Zylinderdurchmesser [d] (links), Einfärbung der Wirbelstraße mit Rote-Beete-Saft (rechts) (eigene Darstellung)

Die Versuche wurden in der 40m-Rinne im wasserbaulichen Forschungslabor des Fachgebiets durchgeführt. Insgesamt wurden drei unterschiedliche Zylindergrößen mit den Durchmessern 5 cm, 9 cm und 16 cm, welche aus Kunststoffrohren bestanden, untersucht. Aufbauend auf den gewählten Durchmessern wurde ein Messraster erstellt, welches sich im Nachlauf der Zylinder befand (vgl. Abbildung 23). Die Messdauer pro Messpunkt wurde jeweils mit 3 Minuten angesetzt. Da die fischförmige Mess-

sonde drei Drucksensoren (Zentrum, links, rechts) besitzt, ergaben sich drei Zeitreihen, die es zu analysieren galt. Die Strömungsgeschwindigkeit in der Rinne wurde dabei so gewählt, dass sich hinter den Zylindern eine kármán'sche Wirbelstraße ausbildete (vgl. Abbildung 23, rechts).

Zur Auswertung der Messdaten wurde vom Institut ein Pythonscript zur Verfügung gestellt, das im Rahmen dieser Thesis erweitert und verbessert wurde. Das Pythonscript berechnet für die jeweils dreiminütigen Messungen mittels der Fast-Fourier-Transformation, die Frequenzen der Druckänderungen. Diese werden in einem Diagramm ausgegeben. Zudem werden die lokalen Maxima des Amplitudenspektrums aller Messpunkte hinter einem Zylinder in einem Diagramm ausgegeben (vgl. Abbildung 24).

Ergebnisse der Druckmessungen im Nachlauf von Zylindern

Die Daten der Druckmessungen haben gezeigt, dass es möglich ist die Zylinder auf Grundlage der gemessenen Druckschwankungen zu unterscheiden. Eine Berechnung der Zylindergröße lassen die Daten ebenfalls zu, allerdings muss hierfür ein einheitliches System für die Berechnung gefunden werden. Die Messungen haben allerdings auch gezeigt, dass keine offensichtliche Unterscheidung zwischen den Messdaten einzelner Sensoren möglich ist.

Nur durch die Darstellung des Amplitudenspektrums der Differenz zwischen dem rechten und linken Sensor, war es möglich die Wirbelablösefrequenz in den Amplitudenspektren in ausreichenden Maßen sichtbar zu machen (vgl. Abbildung 24). Dass die Differenz der seitlichen Sensormessdaten bzw. die Messdaten mehrere Sensoren eine bessere Sichtbarkeit der Ablösefrequenz erlaubt gegenüber einzelnen Sensoren, deckt sich mit der vorliegenden Literatur. Außerdem wurde gezeigt, dass es möglich ist, aus den Amplitudenspektren der Differenz und der Stärke (Amplitude) der dort gefundenen Ablösefrequenz, Rückschlüsse auf die Position der Sonde zum Zylinder zu ziehen. Somit konnte ebenfalls ein Unterschied zwischen den Messpunkten innerhalb und außerhalb der in verschiedenen Studien mithilfe von Fischuntersuchungen definierten Kármán Gaiting Zone festgestellt werden.

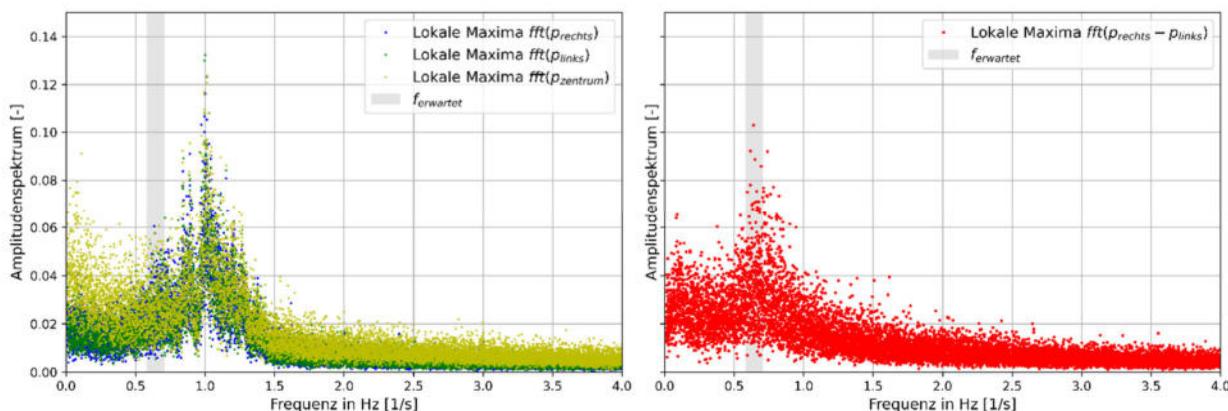


Abbildung 24: Darstellung der lokalen Maxima der Amplitudenspektren über alle Messpunkte (Zylinderdurchmesser 9 cm) (eigene Darstellung)

Zusammenfassung und Fazit

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die fischförmige Messsonde in ihrer Fähigkeit zur Messung der Drucksignaturen aufgrund der geringen Anzahl an Sensoren eingeschränkt ist, aber dennoch akzeptable Ergebnisse liefert. Sie ist in der Lage die periodische Signatur (Wirbelablösung) und in Ansätzen die Länge und Breite der Wirbelstraße zu detektieren. Insbesondere diese Ergebnisse können noch durch verfeinerte Analysemethoden verbessert werden. Allerdings ist die Fischsinnessonde auf Grund ihres Aufbaus nicht in der Lage, die Abstände der Wirbel zueinander, noch die Geschwindigkeit, mit der die Wirbel flussabwärts treiben, zu bestimmen. Um diese Art der Analyse zu ermöglichen, müssten weitere Drucksensoren in der Sonde verbaut werden. Betrachtet man die Ergebnisse nun aus der Sicht eines Fisches, der zahlreiche „Drucksensoren“ (in Form der Sinneszellen seines Seitenlinienorgans) verteilt über seinen ganzen Körper besitzt, wird zumindest im Ansatz ersichtlich, welche Möglichkeiten er besitzt, um sich ein Bild von seiner hydraulischen Umwelt zu machen.

Aus den Fachgebieten:

Wasserbau und Hydraulik (Leitung: Prof. Lehmann)



Lehre

Abschlussarbeiten

Im Jahr 2021 haben mehr als 21 Studierende ihre Abschlussarbeit am Fachgebiet für Wasserbau und Hydraulik geschrieben. Damit war die Nachfrage nach Abschlussarbeiten ca. 30% geringer als in den Vorjahren, was sicherlich den erschwerten Bedingungen infolge der Coronaauflagen geschuldet ist. Dank des Einsatzes aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter konnten angepasste Hygienekonzepte für Labor- und Feldarbeiten erstellt werden, welche die Durchführung dieser Abschlussarbeiten unter guten Bedingungen ermöglichten. Folgende Themenstellungen wurden dabei erfolgreich bearbeitet:

Bachelorarbeiten

- Verfahrensempfehlung für standortspezifische Auswahl von Maßnahmen zur Erreichung eines naturnahen Sedimenthaushaltes
- Wasserbauliche Datenanalyse und -visualisierung mit Python
- Drucksignaturen im Nachlauf von Zylindern unterschiedlichen Durchmessers
- Planung und Bau eines Anschauungsmodells eines mehrfeldrigen Sperrenbauwerks mit anschließendem Tosbecken
- Berechnung von Überflutungsflächen für den Stadtbach (HP) und Bewertung der Ergebnisse im Vergleich zu einer vorliegenden Starkregengefahrenkarte
- Literaturrecherche zu fischökologischen und ökohydraulischen Modellen

Masterarbeiten

- Geschiebe- und Strömungsanalyse im Bereich der Wispereinmündung in den Rhein bei Lorch
- Gewässerentwicklungsplanung am Sandbach unter Berücksichtigung spezieller Randbedingungen
- Zusammenstellung und Empfehlungen für Maßnahmen zum Schutz vor Starkregenereignissen im Bestand von Ortslagen
- Thermofluiddynamische Grenzschichtprozesse bei hydrothormaler Nutzung von Fließgewässern
- Entwicklung von Methoden zur Erfassung hydromorphologischer Strukturen aus Vermessungsdaten
- Charakteristik freier Überfallstrahlen und Gestaltungsempfehlungen für Wehrkonstruktionen
- Maßnahmen zur Sickerwasserhaltung bei Deponien
- Maßnahmen zur gewässerökologischen Bewirtschaftung von Altwässern und Altarmen
- Kalibrierung von kombinierten Fließgeschwindigkeits-Wasserstandmesssystemen
- Rock Drop Test – Damage on geotextile filters due to impact of armour stone
- Erhebung und Bewertung von Ökosystemdienstleistungen im Rahmen einer Gewässerentwicklungsplanung

-
- Variantenbetrachtung zur Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit am Wehr in Dillenburg
 - Maßnahmen zur gewässerökologischen Bewirtschaftung von Altwässern und Altarmen
 - Bewertung der Landesstudie Gewässerökologie Baden-Württemberg als Instrument für eine zielorientierte Planung von Strukturmaßnahmen
 - Analyse des Einflusses erhöhter Sedimentfrachten auf Feinsedimentdynamik und Gewässergüte am Beispiel der Prüm

Wie in den Jahren zuvor auch, werden Abschlussarbeiten als wertvolle Verbindungen in das bestehende Netzwerk zu unseren Praxispartnern genutzt. An der Betreuung einiger Arbeiten waren im Jahr 2021 folgende Institutionen aktiv mit beteiligt:

- Planungsbüros
 - Dahlem Ingenieure GmbH
 - Björnsen Beratende Ingenieure Darmstadt
 - CDM Smith
 - UNGER Ingenieure
 - Arcadis
 - IGM Messen
 - Huesker Synthetic GmbH
 - Infrastruktur & Umwelt Prof. Böhm und Partner
 - Francke + Knittel GmbH
- Fachbehörden
 - Regierungspräsidium Darmstadt
 - Regierungspräsidium Gießen
 - Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz
- Städte, Gemeinden und Kommunen
 - Stadt Dillenburg
- Benachbarte Institute und Fachgebiete
 - Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (Prof. Schmalz)

Exkursionen

In der Woche vom 26. bis 29. Juli 2021 fand die Fachexkursion der Bereiche Wasserbau - Geodäsie - Landmanagement mit 35 Studierenden und den Professoren Lehmann, Eichhorn und Linke statt. Infolge der Coronaauflagen musste bzgl. der Besichtigungslokationen, der Übernachtungen sowie der An- und Abreise improvisiert werden: alle Besichtigungen fanden im Freien statt, die An- und Abreise erfolgte stets ab Darmstadt per ÖPNV und die Übernachtungen konnten somit im eigenen Heim stattfinden. Auf dem Programm standen fachliche Sehenswürdigkeiten aus dem Odenwald, dem Neckartal und dem Rheintal sowie etwas mehr als 80 (!) Wanderkilometer. Dank einer großzügigen Unterstützung durch den Förderverein konnte zu den Wanderungen stets eine gute Verpflegung für die Studierenden geboten werden.

Wetter und Stimmung bei den Teilnehmenden war – trotz der ein oder anderen Blase an den Füßen – sehr gut: Alle waren froh, endlich mal etwas gemeinsam in nicht-digitaler Präsenz erleben zu können.

Fachlich bot die Exkursion aufbauend auf fünf Touren ein buntes und interessantes Programm. Neben den beteiligten Professoren sorgten auch die Studierenden mit erarbeiteten Referaten zu einzelnen Anlaufpunkten für spannende Einblicke und vielfältige neue Erkenntnisse. Folgende Inhalte wurden geboten:

- Mühlentalweg Odenwald (20 km-Wanderung): Renaturierter Steinbruch Nieder-Ramstadt, Mühlenantrieb mit Wasserrädern, Windkraftnutzung auf der Neutscher Höhe
- Bad Kreuznach / Nahe (12 km-Wanderung): Alte Nahebrücke und ihre historischen Brückenhäuser, Sohlengleitenbauweise am Elisabethenwehr, Hochwasserschutz in Bad Kreuznach (Hydraulische Drossel Mühlkanal, mobile und festinstallierte Schutzelemente, Gewässeranpassungen), Fischaufstiegsanlage am Mühlenteich, Stadtanierung in Bad Kreuznach
- St. Goar / Rhein (18 km-Wanderung): Die Loreley, Diskussion Fähre vs. Brücke bei St. Goar, der Steillagenweinbau inkl. Wasserhaltung, UNESCO-Welterbe Oberes Mittelrheintal, Bedeutung der Burgen im Mittelrheintal
- Wolfsschlucht und Rockenau / Neckar (16 km-Wanderung): Die Wolfsschlucht, Naturpark Neckartal-Odenwald, Wehranlage und Schleusenanierung Rockenau, Fischdurchgängigkeit am Wasserkraftwerk Rockenau, die Teufelskanzel
- Münster (Hessen) / Gersprenz (15 km-Wanderung): Umgehungsgerinne an einem alten Gersprenzwehr, Renaturierung der Gersprenz, Biberansiedlung und -management, Schutz der Kiebitze, Kläranlage Münster – 4. Reinigungsstufe, Hochwasserschutz in Münster, Stadtumbau in Münster



VGU-WaterTech: Aktive Mitwirkung im internationalen Studiengang M.Sc. Water Technology, Water Reuse and Water Management (WaterTech)

Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Förderung:

Bundesministerium für Bildung und Forschung
Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst



Beteiligte:

Konsortialverein VGU e.V., DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst)
Technische Universität Darmstadt
Vietnamese-German University



Kurzbeschreibung

Die Vietnamese-German University (VGU) ist ein von der vietnamesischen Regierung und dem Land Hessen initiiertes Hochschulprojekt. Auf deutscher Seite wird das Projekt vom Land Hessen und dem Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBWF) getragen. Der DAAD bringt seine internationale Expertise ein und begleitet den Auf- und Ausbau der VGU beratend, administrativ und finanziell.

Ausrichtung und Zielsetzung

Die Studierenden des neu initiierten Studiengangs im Rahmen des vietnamesisch-deutsches Kooperationsprojekts „VGU“ haben die Möglichkeit, auf Basis von einem vorangehenden Bachelorstudiengang weitere Kompetenzen zu erwerben, die durch die fachspezifischen Ausrichtungen der angebotenen Module des Studiengangs M.Sc. Water Technology, Water Reuse and Water Management (WaterTech) ausgebaut, ergänzt und mit neuen Themenbereichen erweitert werden. Die erfolgreiche Fortsetzung des Studiums im Masterstudiengang WaterTech wird gewährleistet, indem jede(r) Studierende(r) fachspezifische Kompetenzen erwirbt. Vom FG Wasserbau und Hydraulik ausgehend, werden im Wintersemester 2021/22 beginnend beim Masterstudiengang WaterTech zwei 6CP- Module (*River Engineering* und *Hydraulic Structures and Modelling*, Abbildung 25) angeboten, die durch die Zusammenfassung von zielgerichteten Studieninhalten je einen Baustein der Vertiefungsrichtung „River Management“ bilden.

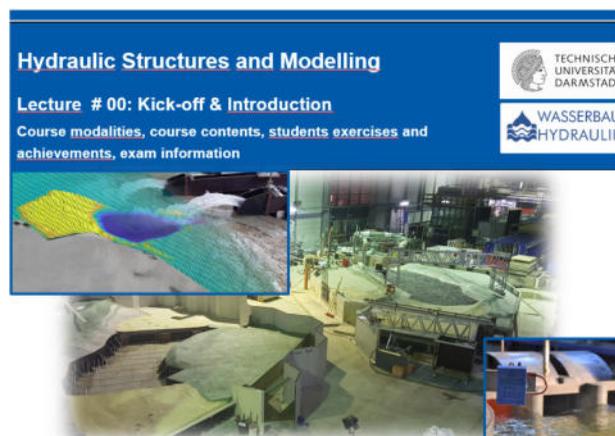
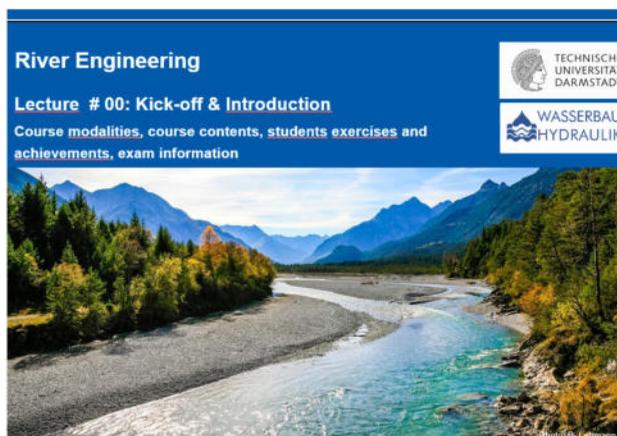


Abbildung 25: Startfolien zu den Modulen „River Engineering“ (links) und „Hydraulic Structures and Modelling“ (rechts)



Robin Ruff, M.Sc. und Christian Eichhorn, M.Sc.

IWAR

In Kooperation mit dem Fachgebiet Wasserversorgung und Grundwasserschutz (IWAR)

Die Coronapandemie stellt unser Fachgebiet in der Lehre immer wieder vor neue Herausforderungen, so auch im Modul „Interdisziplinäres Projekt Bauingenieurwesen und Umweltingenieurwesen“ (IPBU). Das IPBU-Modul steht am Beginn des Masterstudiums der Bau- und Umweltingenieurinnen und -ingenieure und behandelt die interdisziplinäre Bearbeitung eines möglichst realen Bau- und/oder Planungsprojektes durch studentische Projektteams am Beispiel eines auf den Studiengang bezogenen Themas. Insbesondere der reale Aspekt des zu bearbeitenden Projekts ist in der reinen Online-Lehre sehr schwer umzusetzen. In den vergangenen Semestern blieben wegen der Kontakteinschränkungen die kooperativen und praktischen Aspekte von Projektarbeiten oft im Hintergrund. Stattdessen wurden meist sehr theorielastige Projekte bearbeitet. Im Wintersemester 2021/2022 wurde deshalb von den beiden Fachgebieten „Wasserbau und Hydraulik“ sowie „Wasserversorgung und Grundwasserschutz“ im Rahmen des IPBU-Projekts „Nutzung von Minecraft™ zur Visualisierung von wasserwirtschaftlichen Anlagen“ ein neuer Ansatz ausprobiert.

Minecraft ist ein Open-World-Spiel, welches 2009 von der Firma Mojang entwickelt wurde. In der fiktiven Welt können Spieler mithilfe von sammelbaren Ressourcen Gebäude und Anlagen bauen, Landschaften umformen und sogar auch „Schaltkreise“ erstellen, welche Funktionen einzelner Komponenten und deren Verknüpfungen hin zu einem Wirkungsgefüge simulieren (Abbildung 26). Das Spiel gibt den Nutzern die Möglichkeit, mit einfachen Mitteln komplexe Zusammenhänge zu erstellen und mit Modifikationen den Funktionsumfang sogar noch zu erweitern. So bieten verschiedene Erweiterungen beispielsweise die Möglichkeit Pumpen, Wasserkraftanlagen, Getriebe und Generatoren und viele weitere wasserkrafttypische Komponenten zu nutzen und miteinander zu einer funktionalen Einheit zu verknüpfen.



Abbildung 26: Die virtuelle Welt von Minecraft™ bietet interessante Möglichkeiten (Quelle Mojang AB)

Im Rahmen des IPBU-Projekts konstruieren und simulieren die Studierenden eine Wasseraufbereitungsanlage sowie die zugehörige Energieversorgung durch Wasserkraftnutzung. Dafür recherchieren die Studierenden zu Beginn den Aufbau und die Funktion von Wasseraufbereitungsanlagen und Anlagen zur wasserkraftbasierten Energieversorgung. Anschließend wird ein Anlagenkonzept basierend auf einer vorgegebenen Wasseranalyse entworfen und innerhalb der Minecraft™-Welt umgesetzt – dazu wird den Teilnehmenden eine zeitlich befristete Lizenz der Java Edition zur Verfügung gestellt. Zum Abschluss sollen die Studierenden ihre digitale wasserwirtschaftliche Anlage kritisch betrachten und bewerten, wie nützlich diese Form der Visualisierung ist (Abbildung 27). Die Bearbeitung der Projektaufgabe erfolgt eigenverantwortlich und selbstständig mit Hilfe der gängigen Instrumente der

Projektarbeit – Zwischenpräsentationen und eine abschließende Vorführung mit Prüfungsgespräch sind als Projektmeilensteine zur Kontrolle der Arbeiten eingeplant.

Bei der Planung von wasserwirtschaftlichen Anlagen wird nur in seltenen Fällen die künftige Anlage vollständig visualisiert. Meist werden abstrahierte Konstrukte wie RI-Fließbilder oder Schaltbilder genutzt, um die Verfahren bzw. deren Aufbauten darzustellen. Dabei lassen diese Darstellungen jedoch keinen Rückschluss auf das tatsächliche Aussehen der künftigen Anlage zu. Bei Bauprojekten hat sich in den letzten Jahren BIM – Building Information Modeling – etabliert. Mit verschiedenen Softwares wie „Autodesk Revit“ lassen sich Gebäude darstellen und mit verschiedenen Eigenschaften versehen. So kann eine große Menge an Informationen zu dem geplanten Gebäude verständlich dargestellt werden. Jedoch lassen sich mit solcher Software meist keine dynamischen Zusammenhänge zwischen einzelnen Anlagenteilen darstellen. Ingenieurinnen und Ingenieure werden also vor die Wahl gestellt: Entweder werden die Verfahren in RI-Fließbildern zusammengefasst, um die Verfahrenstechnik korrekt abzubilden, oder sie visualisieren die verschiedenen geplanten Gebäude via BIM, können dabei aber nicht den Zusammenhang zwischen verschiedenen Verfahrensschritten inkludieren.



Abbildung 27: Vereinfachte Visualisierung einer wasserwirtschaftlichen Anlage in Minecraft; vorne: Wasseraufbereitungsanlage, hinten Energieversorgungsanlagen (Quelle Mojang AB)

Eine Visualisierung der Anlage mithilfe üblicher BIM-Software wäre zwar prinzipiell denkbar, allerdings sind die notwendigen Lizenzen meist mit hohen Kosten verbunden, die Software benötigt eine umfassende Einarbeitung, die im Laufe eines Semesters kaum möglich wäre, und das kooperative Bearbeiten eines Projektes ist oft nicht vorgesehen. In Minecraft ist zwar nur eine grundlegende Visualisierung der Anlage möglich, allerdings bietet die Software einige wesentliche Vorteile: Hierzu zählen die geringen Kosten, die kurze Einarbeitungszeit, vielfältige Ergänzungsmöglichkeiten durch Modifikationen sowie die Möglichkeit zum gleichzeitigen und kooperativen Arbeiten.

Mithilfe der des Projektes soll durch einen neuartigen Ansatz den Studierenden die Möglichkeit gegeben werden, auch in der Onlinelehre spannende Projekte mit einem realen Bezug bearbeiten zu können. Wir hoffen zudem, dass hierdurch auch der kooperative Ansatz wieder stärker in den Vordergrund gerückt wird.

Promotionen

Am 22.01.2021 verteidigte Herr **Dipl.-Ing. Jonas Jurisch** erfolgreich seine Dissertationsschrift mit dem Thema „Zum Verfestigungsverhalten wassergesättigter und verflüssigter Granulate“. Jonas Jurisch hat an der Technischen Universität Dresden Bauingenieurwesen studiert und arbeitete danach bei der GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH im Grundwasser-Zentrum Dresden im Team unseres Fördervereinsmitglieds Dr.-Ing. habil. Thomas Luckner. Seit 2021 ist Jonas Jurisch als Technischer Leiter bei der TWB Tief- und Wasserbau GmbH in Boblitz/Spreevald tätig.



Liquefaktion (Bodenverflüssigung) kann bei locker gelagerten wassergesättigten Böden infolge einer Initialeinwirkung (bspw. starke Erschütterung oder Erdbeben) stattfinden. Der instabile Boden „verflüssigt“ sich – die Standsicherheit und Tragfähigkeit des Bodens nimmt in kurzer Zeit rapide ab. Besonders bei eingestauten Damm- und Deichanlagen aber auch bei Böschungen und in Steiluferbereichen von Gewässern sowie an Innenkippen ehemaliger Tagebaue kann eine derartige Liquefaktion gravierende Folgen haben. Da der aktuelle Stand des Wissens hierzu einige Lücken in der theoretischen Beschreibung des Materialverhaltens verflüssigter granularer Systeme aufweist, beschäftigt sich die Forschungsarbeit von Jonas Jurisch mit der Klärung der Frage, welches Verfestigungs- und Phasentransformationsverhalten ein solches Bodengefüge unmittelbar nach einer durch ein Initial herbeigeführten Verflüssigung aufweist und wie sich dies erklären lässt.

Mithilfe von physikalischen Modellversuchen konnte Jonas Jurisch das Verhalten der bei der Bodenverflüssigung einsetzenden Prozesse (Verflüssigung und Verfestigung) sowie deren Einflussgrößen detailliert erfassen, abbilden und phänomenologisch beschreiben. Seine Arbeit liefert einen neuen wissenschaftlichen Beitrag zum Prozessverständnis und quantifiziert zudem bereits einige relevante Parameter. Auch die Interpretation und die Bedeutung seiner Befunde für die Praxisanwendung sind gut ausgearbeitet – zudem weist die Arbeit an sich einen klar fokussierten Grundlagenforschungscharakter und hier dann einen Schwerpunkt in der (qualitativen) phänomenologischen Beschreibung auf. Die Dissertationsschrift kann unter dem Link https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/17627/1/2021_Dissertation-Jurisch.pdf digital heruntergeladen werden - eine Publikation im Rahmen der Mitteilungsreihe des Instituts ist in Vorbereitung.

Im Rahmen der Dresdner Grundwassertage 2021 wurde Jonas Jurisch für seine Dissertation der Grundwasserforschungspreis 2021 verliehen. Die eingesetzte Jury hob in ihrer Begründung der Preisvergabe das hohe theoretische Niveau und die wissenschaftliche Akkuratess der Dissertationsschrift bei der integralen strömungs- und bodenmechanischen Prozessanalyse besonders hervor. Wir gratulieren recht herzlich zu dieser besonderen Auszeichnung!

Aktuell promovieren folgende Doktorandinnen und Doktoranden am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik mit Betreuung durch Prof. Lehmann (in alphabetischer Reihenfolge):

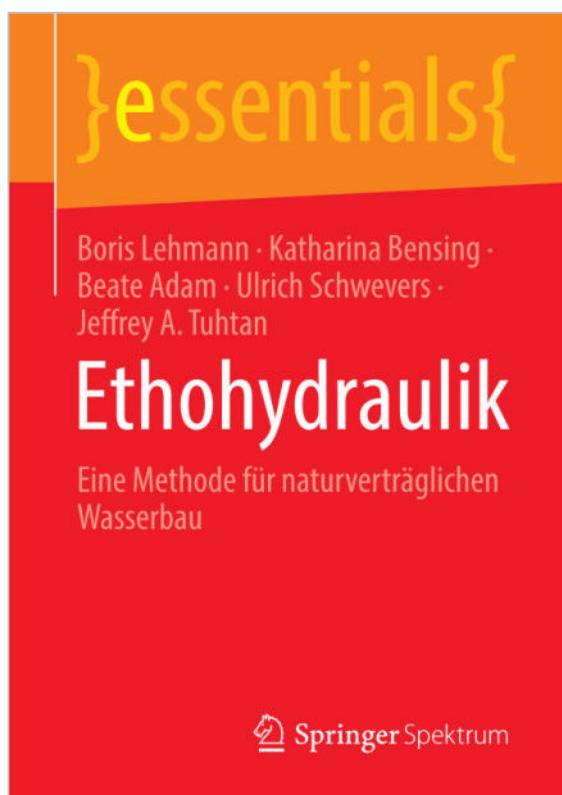
- Katharina Bensing, M.Sc. – Ethohydraulische Modellierungen
- Steve Borchardt, M.Sc. – Wärmeübertragereinsatz in Fließgewässern
- Gerhard Braun, Dipl.-Ing. – Feinrechenauslegung für Kläranlagen (in Zusammenarbeit mit der htw Saar)
- Jessika Gappisch, M.Sc. – Der Einsatz von Wärmeübertragern in wasserbaulichen Systemen und seine numerische Abbildung
- Linus Kaminski, M.Sc. – Numerische Simulation zum Fischabstieg über Wehranlagen (in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau)

- Christin Kannen, M.Sc. – Bemessung und eigendynamische Entwicklung gewässerökologisch wirksamer tiefer Kolke in der Gewässerentwicklung (in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie)
- Joanna Küppers, M.Sc. – Verfahrenstechnik zum Sedimentmanagement in Stauhaltungen (in Zusammenarbeit mit D-Sediments)
- Tobias Lohrey, M.Sc. – HN-Modellierung zum Sedimentmanagement in Stauhaltungen
- Andreas Müller, M.Sc. – Gewässerstrukturierung in urbanen Bereichen durch Lenkbuhnen (in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie)
- Robin Ruff, M.Sc. – Testverfahren und Einsatzbereiche hydrokinetischer Turbinen
- Peter Wiker, Dipl.-Ing. – Multifeldrechensysteme zum Fischschutz bei großen Wasserkraftanlagen

Publikationen

Gemeinsam mit Kolleginnen und Kollegen der Technischen Universität Tallinn (Estland) und des Instituts für angewandte Ökologie GmbH (Kirtorf-Wahlen) wurde in 2021 im Auftrag des Springer-Verlages ein *essential* zum Thema „Ethohydraulik – Eine Methode für naturverträglichen Wasserbau“ erarbeitet und publiziert. Die Springer-Serie *essentials* hat den Anspruch die Essenz dessen, worauf es als „State-of-the-Art“ in der gegenwärtigen Fachdiskussion oder in der Praxis ankommt, konzentriert darzustellen unkompliziert und verständlich darzustellen. Besonders bei Studierenden sind *essentials* wegen ihrer Kürze, Prägnanz und den oftmals vorlesungsrelevanten Inhalten sehr beliebt – aber auch Fachbehörden, Planungsbüros, NGO's und fachlich Interessierte nutzen das Format, um einen raschen Ein- und Überblick zu einem Thema zu erhalten.

Das *essential* zum Thema Ethohydraulik ist sowohl auf Deutsch als auch in englischer Sprache erschienen und zu einem Preis von ca. 15 EUR als Heft oder 5 EUR als e-Book erwerbbar.



Was Sie aus diesem *Essential* mitnehmen können

- Ethohydraulik ermöglicht die verhaltensbezogene Erforschung von Wassertieren unter eingestellten geometrischen und hydraulischen Randbedingungen.
- Die Konzeption ethohydraulischer Tests bedarf einer sorgfältigen, an der Problemstellung orientierten Voranalyse sowie des Aufbaus und Betriebs eines situativ ähnlichen Versuchssystems mit variierbaren Randbedingungen.
- Ethohydraulische Untersuchungen finden i. d. R. unter konditionierten Bedingungen im Labor statt, können aber bei Anwendung geeigneter Mess- und Beobachtungsmethoden auch im Freiland durchgeführt werden.
- Ethohydraulische Untersuchungen nutzen eine Vielzahl unterschiedlicher Methoden (bspw. numerische und physikalische Modelle, Telemetrie- und Transpondertechnologien, unterschiedlichste hydraulische und bioinspirierte Messtechnologien) und vereinigen diese zu einem hybriden Ansatz.
- Die Befunde ethohydraulischer Untersuchungen dienen der Planung, Bemessung und Optimierung von Passage- und Schutzeinrichtungen für die Gewässerfauna an wasserbaulichen Anlagen – dazu existieren generelle Befunde (bspw. hydraulische Grenz- und Richtwerte), Empfehlungen (bspw. zu bauwerksinduzierten Strömungssignaturen) wie auch anlagenspezifische Funktionsvorgaben (bspw. Steuerung eines Fischliftsystems oder Auslegung eines Fischschutzrechens).
- Neue technische Entwicklungen ermöglichen differenzierte ethohydraulische Untersuchungen, bspw. durch den Einsatz autonomer Fischsonden, der Fischwegverfolgung mittels Telemetrie oder der Erhebung und Auswertung komplexer Strömungsdaten (bspw. Turbulenzparameter) mittels hybrider Kopplung hydrometrischer Messungen mit hochaufgelösten numerischen Simulationen.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert durch Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2021
B. Lehmann et al., *Ethohydraulik*, essentials,
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-32824-5>

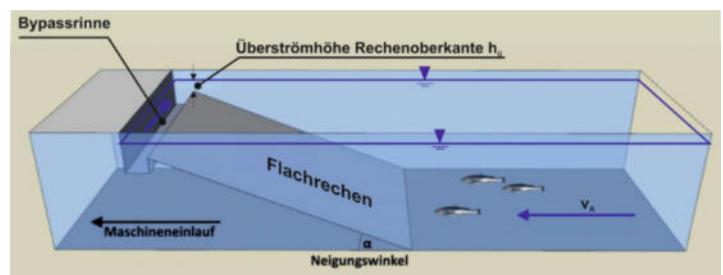
61

Fischschutz- und Fischabstiegsanlagen an Wasserkraftanlagen sind zentrale Maßnahmen zum Schutz von Fischen vor turbinenbedingten Schädigungen sowie zur Gewährleistung eines sicheren Fischabstiegs. Zwar wurde der Kenntnisstand zur Errichtung wirksamer Anlagen in den letzten Jahren kontinuierlich erweitert, das Verhalten der Fische als wesentliche Grundlage zur Bemessung funktionsfähiger Fischschutz- und Abstiegskonzepte ist bislang allerdings noch wenig erforscht. Das Wissen über Reaktionen und Verhaltensmuster von Fischen bei bestimmten Strömungsbedingungen und Anlagen-gestaltungen liefert jedoch wichtige Hinweise zur Konstruktion wirksamer Anlagen.

Vor diesem Hintergrund wurde das Verhalten verschiedener Fischarten an sog. Flachrechen-Bypassrinnen-Systemen untersucht (vgl. Berichte im *WasserJahr* 2017 und 2018). Im Fokus dieser gemeinsamen von Biolog*innen und Wasserbauingenieur*innen durchgeführten Laboruntersuchungen stand das Verhalten abwandernder Fische an Wasserkraftanlagen mit flach zur Sohle geneigtem Rechen mit Bypassrinne.

Die im Zeitraum 2017-2019 erarbeiteten Ergebnisse aus dem vom Bundesamt für Naturschutz geförderten ethohydraulischen Studien zum Flachrechen-Bypassrinnen-System wurden in Zusammenarbeit mit dem seinerzeitigen Projektpartner (Institut für angewandte Ökologie GmbH, Kirtorf-Wahlen) gut verständlich und praxisorientiert aufbereitet und als Band Nr. 169 in der Buchreihe Naturschutz und Biologische Vielfalt veröffentlicht. Das Buch fasst den bisherigen Kenntnisstand zu Flachrechen-Bypassrinnen-Systemen zusammen und leitet aus den beobachteten Reaktionen und Verhaltensmustern der detailliert beschriebenen Laborversuche unter Berücksichtigung der spezifischen hydraulischen Verhältnisse erste Empfehlungen für die Anordnung, die Konstruktion und den Betrieb des Systems ab.

Das Buch ist im Online-Shop des Bundesamtes für Naturschutz zum Preis von 22 EUR erhältlich (https://bfm.buchweltshop.de/nabiv_heft_169_dimensionierung_und_anordnung_von_fischschutz-einrichtungen.html).



Internationale Kooperation – Tallinn University of Technology (Estland)

Katharina Bensing, M.Sc.



Die fachliche Schnittstelle zwischen Wasserbau und Bionik-Messtechnik wurde von Prof. Lehmann und Assoc. Prof. Tuhtan im Rahmen der Promotion von Juan Francisco Fuentes-Pérez 2019 belebt (vgl. WasserJahr 2019), nachdem ein Kontakt und intensiver fachlicher Austausch zur Ethohydraulik zwischen den beiden bereits einige Jahre zuvor bestand.

Im Rahmen der Arbeit im gemeinsamen Projekt *MeMo Fischabstieg* wurde der enge Austausch mit den Partnern und Entwicklern der Fischeinmesssonden (FSS) an der Technischen Universität Tallinn (Tal-Tech) intensiviert. Als einer der Initiatoren des MeMo-Projektes arbeitet Dr. Jeffrey Tuhtan dort mittlerweile als Associate Professor of Environmental Sensing Technologies mit seinem vielseitigen Team, welches sich aus Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler verschiedenster Fachrichtungen zusammensetzt. Schwerpunkte liegen dabei auf dem Einsatz von Unterwasserrobotik und -sensorik - beispielweise zur Entwicklung von Technologien/Robotern, die sich tierähnlich fortbewegen - oder von Sensorik, welche Messdaten der Tierwahrnehmung nachgeahmt aufzeichnet. Wie daraus bereits ersichtlich wird, ist dieses Fachgebiet stark interdisziplinär geprägt: von der Softwareentwicklung, über mechatronische Komponenten und strömungstechnische Grundlagen bis hin zum Wissen über die biologischen Vorgänge von Organismen ist alles vertreten. Somit erwies sich das Team auch als optimaler Partner, um neue Strömungssonden mit künstlichem Seitenlinienorgan (Strömungssinn der aquatischen Fauna) zu entwickeln, welche die Wahrnehmung des Fisches imitieren und somit unser menschliches Verständnis über das Sinnesbild eines aquatischen Lebewesens verbessern sollen.

Im Dezember 2020 wurden die letzten der neun Fischeinmesssonden für das MeMo-Projekt am Centre for Biorobotics (TalTech) gefertigt, weshalb der Gastwissenschaftler und Doktorand Ali Hassan Khan im Januar 2021 seine Koffer packte und mit den Messgeräten von Tallinn nach Darmstadt kam.



Abbildung 28: Erste Tests zum Einsatz der Fischeinmesssonden sowie zur Beeinflussung der Strömung durch den Fischkörper im Rahmen des Projektes *MeMo Fischabstieg* im wasserbaulichen Forschungslabor

10 Tage und einen Corona-PCR-Test später traf er dann im wasserbaulichen Forschungslabor ein, sodass die umfangreichen Voruntersuchungen der neuen Messsonden beginnen konnten (Abbildung 28). Die Ergebnisse dazu werden aktuell noch in einer Veröffentlichung zusammengestellt. Ali Khan promoviert selbst über die Beeinflussung des Strömungsnahfeldes durch einen Fischkörper unter Nutzung der Simulationssoftware OpenFOAM.

Nachdem er mich Anfang des Jahres 2021 mit den Messgeräten vertraut gemacht und ich im Sommer eine Vielzahl an Messung für das MeMo-Projekt abgeschlossen hatte, machte ich mich wiederum mit ein paar Sonden sowie reichlich Daten im Gepäck auf den Weg nach Tallinn. Am Centre for Biorobotics wurde ich herzlich empfangen, konnte mit Prof. Tuhtan weiter an der Auswertung der Daten für das Projekt und unserer Veröffentlichung arbeiten sowie viele Einblicke in die Arbeit des Teams erlangen. Aufgrund der guten Zusammenarbeit und des Interesses an einer weiteren Kooperation entstanden außerdem Ideen für Forschungsanträge, die wir diskutieren konnten. Hierbei steht zum einen die Weiterentwicklung der FSS im Fokus, aber bspw. auch die Nutzung von künstlicher Intelligenz zur Verbesserung ethohydraulischer Untersuchungsmethodik.

Ein Highlight meines Aufenthalts war der Ausflug auf die Insel Muhu, bei dem Drucksensoren aus einem Flugzeug abgeworfen wurden, um mithilfe hochpräziser GPS-Daten die Flugbahnen zu bestimmen. Wir als Bodencrew waren anschließend mit dem Boot unterwegs, um die Sensoren wieder aus der Ostsee zu fischen (Abbildung 29). Dieselben Sensoren werden beispielsweise auch zur Messung hydrologischer Daten in Gletscherströmungen eingesetzt¹.



Abbildung 29: „Drop Tests“ auf der Insel Muhu: Blick aus dem Flugzeug (links); warten auf den „Sensor Drop“ bei der Boden Crew (Mitte); einsammeln der Sensoren aus der Ostsee nach erfolgreichen Drop Tests (rechts) - siehe auch <https://www.youtube.com/watch?v=YesUQcQLBgo>

Und neben den beruflichen Aktivitäten durfte natürlich auch das private Vergnügen nicht zu kurz kommen (Abbildung 30). Dabei ist Tallinn eine vielseitige, multikulturelle und schöne Stadt, die definitiv weitere Besuche wert ist.



Abbildung 30: Lehmporte (Viru Väravad) zur Altstadt (links); Blick aus der Ferne auf den Hafen (Mitte); Schiffahrtsmuseum (Lennusadam, rechts)

[1] Alexander et al. (2020): Pressure and inertia sensing drifters for glacial hydrology flow path measurements. *The Cryosphere*, 14, 1009-1023. <https://doi.org/10.5194/tc-14-1009-2020>.

Forschung: MeMo Fischabstieg

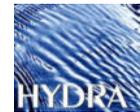
Entwicklung eines kombinierten Mess-/Modelliersystems zur Planung, Bewertung und Optimierung von Fischabstiegseinrichtungen an Wasserkraftanlagen

Katharina Bensing, M.Sc.

Projektförderer: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) - Az. 33867/01



Projektpartner: Ingenieurbüro SJE (Ecohydraulic Engineering GmbH), Büro für Gewässerökologie HYDRA, Centre for Biorobotics der Technischen Universität Tallinn (TalTech)



Ein kurzer Überblick

Das Projekt *MeMo Fischabstieg* hat die Verbesserung der abwärts gerichteten Durchgängigkeit der Binnengewässer zum Ziel, weshalb darin zum einen die bioinspirierte Messtechnik und zum anderen die computergestützte Modellierung von Fischverhalten weiterentwickelt wird. Ein weiterer Fokus liegt auf der Betrachtung potamodromer Fischarten. Zu diesem Zweck wurden für die ethohydraulischen Untersuchungen verschiedene Bypass-Schrägrechen-Konfigurationen gewählt, welche bisher in anderen Arbeiten bspw. in Hinblick auf den Lachs und Aal gut untersucht wurden. Hierfür wurden Kombinationen aus verschiedenen Rechenschrägstellungen (30° und 55° zur Anströmung) und verschiedenen Geschwindigkeiten (0,5 m/s und 0,7 m/s) mit einer festen Breite des Bypasses von 20 cm und einem Stababstand von 18 mm gewählt. Diese Setups konnten dann in einem 3D-HN-Modell abgebildet, im wasserbaulichen Forschungslabor mit konventioneller und bioinspirierter Messtechnik hydraulisch untersucht und mit dem Verhalten von Fischen durch Einsetzen in die Laborrinne gegenübergestellt werden (Abbildung 31).

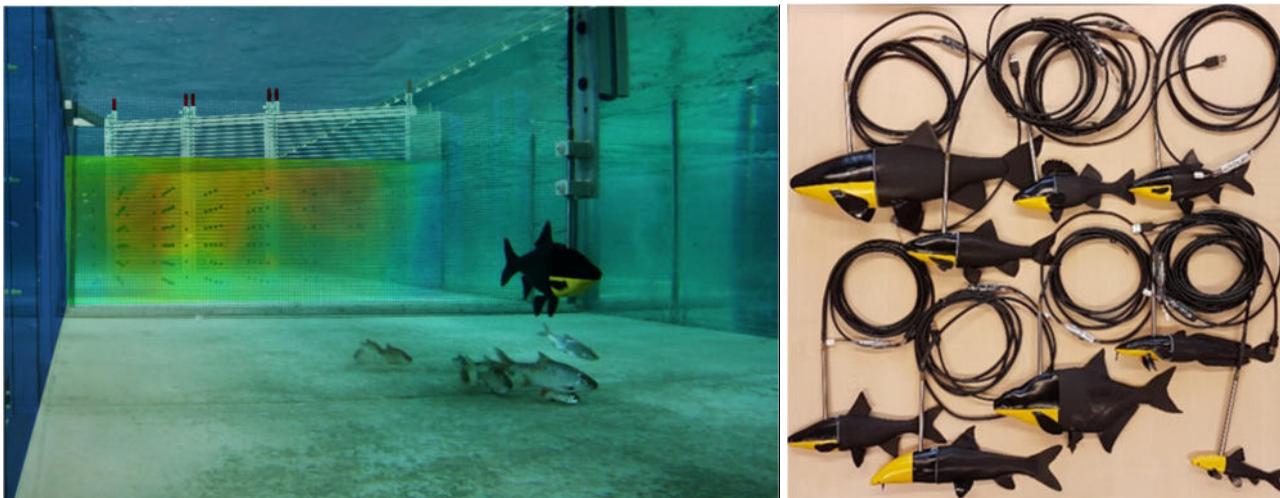


Abbildung 31: Kombination der neuen Messtechnik, den Lebendtierversuchen mit Rotaugen und den Ergebnissen der Strömungsmessungen am Schrägrechen (links); neun verschiedene von dem Centre for Biorobotics (TalTech) entwickelte Fischsinnessonden (FSS), die im Projekt zum Einsatz kommen (rechts)

Ethologische Untersuchungen

Die Lebendtierversuche fanden im Herbst 2020 und Frühjahr 2021 statt. Die Fische wurden dabei aus der Nidda bei Frankfurt Höchst und der Kahl bei Alzenau entnommen (Abbildung 32, links), in belüfteten, durchströmten Langstrombecken im Labor gehalten und nach erfolgreichem Abschluss einer Versuchsstaffel wieder in ihr Entnahmegewässer zurückgesetzt. Insgesamt fanden in den fünf Versuchsstaffeln 63 Einzelversuche mit 497 Fischen statt - vertretene Fischarten waren Döbel, Nase, Gründling, Barbe, Flussbarsch, Schneider, Rotaugen und Elritze in verschiedenen Altersstadien.

Die Tiere wurden für die Untersuchungen in Gemischt- oder Einartenschwärmen in die Laborrinne eingesetzt und in halbstündigen Versuchen in ihrem Verhalten beobachtet und protokolliert. Zusätzlich fanden Aufzeichnungen mit Kameras von außerhalb der Rinne sowie mit Unterwasserkameras aus verschiedenen Blickwinkeln statt. Um die Aufenthaltsräume der Fische später besser identifizieren zu können, wurde ein 10 cm x 10 cm Raster auf die Sohle sowie die Seitenwand der Laborrinne aufgetragen (Abbildung 32, rechts).



Abbildung 32: Elektrofischerei für die Tierversuche im Frühjahr 2021 (links) und Aufzeichnung der Unterwasserkamera zur Verhaltensanalyse von Rotaugen vor dem 55° Rechen (rechts)

Hydraulische Analyse

Die im Projekt eingesetzte bioinspirierte Messtechnik besteht aus fischförmigen Körpern (entwickelt vom Centre for Biorobotics an der TalTech, Abbildung 31), welche mit einer inertialen Messeinheit sowie drei Drucksensoren ausgestattet sind. Dabei wird die Hypothese aufgestellt, dass die aufgezeichneten Messdaten dieser sogenannten Fischsinnessonden (FSS) der Wahrnehmung eines Fisches näherkommen, als die konventionelle Messung von Strömungsgeschwindigkeiten.

Anknüpfend an die Druckmessungen mit den ersten Prototypen der FSS (siehe *WasserJahr 2020*) wurden im Sommer 2021 die Messungen mit den weiterentwickelten Sonden (Abbildung 31, rechts) in einem feinen Raster in drei Ebenen parallel zur Sohle vor dem Rechen durchgeführt. Bereits im Januar fanden dazu umfangreiche Voruntersuchungen durch Unterstützung des Gastwissenschaftlers Ali Hassan Khan (TalTech) statt. Um den Messaufwand im Rahmen der Projektlaufzeit zu begrenzen, fiel die Wahl der eingesetzten FSS anschließend auf drei verschiedene Fischformen (bzw. -arten) in drei verschiedenen Größen, die sich auch in den Tierversuchen als motiviert zeigten (Abbildung 33). Zusätzlich zu den Messungen mit den FSS, welche Drucksensoren an der Nase (Mitte) sowie links- und rechtsseitig des fischförmigen Körpers besitzen, fanden noch reine Geschwindigkeitsmessungen mit dem Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) sowie Messungen in einer Kombination aus ADV, FSS und UDS (Ultraschallabstandssensor) zur ergänzenden Ermittlung des Wasserstands statt. Damit ergab sich ein großes Portfolio an Druck- und Geschwindigkeitsdaten für je mehrere hunderte von Messpunkten. Die Datenbereinigung und -verarbeitung fand deshalb mit einem in der Programmiersprache *Python* erstellten Script statt. Von der reinen resultierenden Geschwindigkeit, über die turbulente kinetische Energie bis hin zu Druckdifferenzen zwischen den drei Sensoren wurden anschließend eine Vielzahl von Daten für das gewählte Messraster ausgewertet (beispielhaft in Abbildung 34 dargestellt).

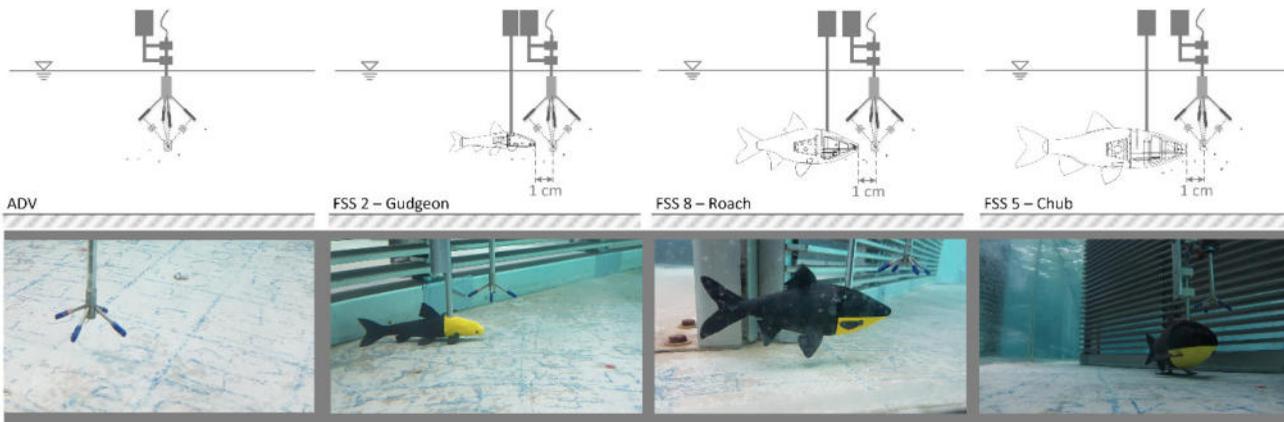


Abbildung 33: Kombinierte Messung mit ADV und drei verschiedenen FSS vor dem Rechen

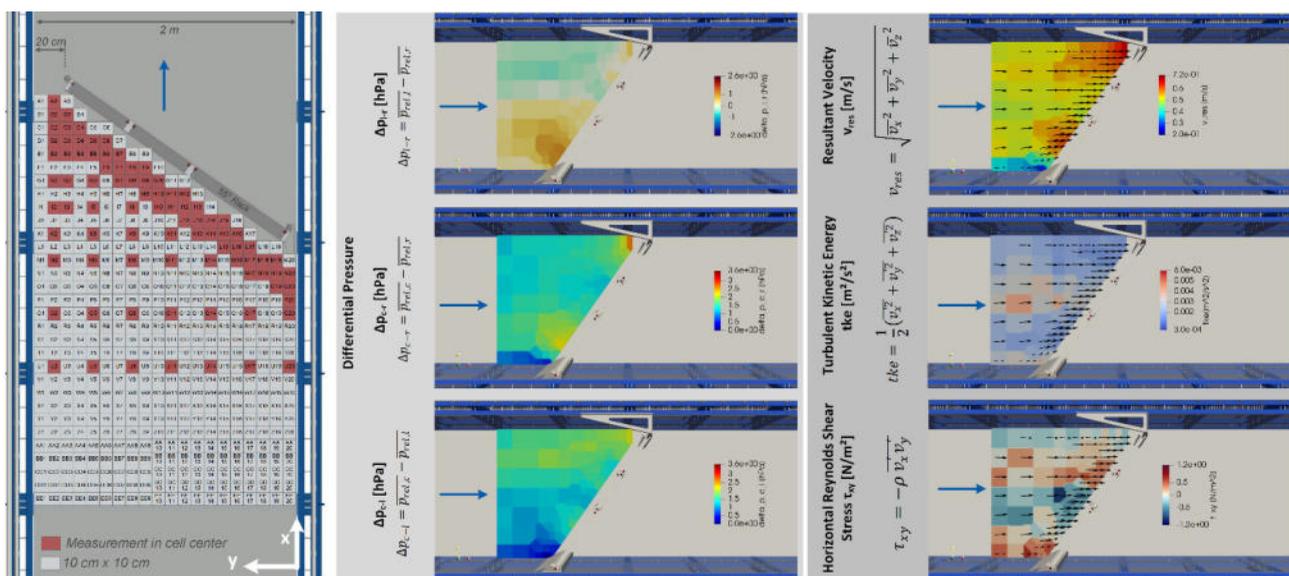


Abbildung 34: Messraster für die hydraulischen Analysen in verschiedenen Ebenen vor dem Rechen für den 55° Rechen (links), Auswahl einiger Ergebnisse der FSS-Druckmessungen (Mitte) sowie der ADV-Geschwindigkeitsmessungen (rechts); Darstellungen einer Messebene parallel zur Sohle in Paraview

Aktuelle Arbeiten und Ausblick

Aktuell findet eine Auswertung der Videos zu den Lebendtierversuchen, bspw. durch Rekonstruktion von Fischwegen mithilfe der Software *Kinovea*, und deren Verschneidung mit den hydraulischen Daten statt. Dafür werden neben den Messdaten auch die Ergebnisse der 3D-HN-Modellierung (Flow3D, SRH-2D und OpenFOAM) genutzt und neue Reiz-Reaktionsmuster herausgearbeitet, um diese in das Habitatmodell CASiMiR (Ingenieurbüro SJE) einzupflegen.

Um die FSS ebenfalls im Praxiseinsatz zu testen, sind weitere Messungen an der Wasserkraftanlage Auer Kotten geplant, die bisher aufgrund der Beschädigungen durch das diesjährige Hochwasser noch nicht stattfinden konnten.

Mit der Durchführung der letzten Simulationen und Messungen sowie der aktuellen Zusammenstellung der Ergebnisse im Abschlussbericht, befindet sich das Projekt auf der Zielgeraden und kann voraussichtlich zum Ende des ersten Quartals 2022 plangemäß abgeschlossen werden.

Forschung: Entwicklung eines mobilen und kostengünstigen Kleinstwasserkraftwandlers für den Einsatz in Schwellen- und Entwicklungsländern

Robin Ruff, M.Sc.

Projektförderer: Stiftung der Deutschen Wirtschaft



An dieser Stelle wurde im vergangenen *WasserJahr 2020* bereits über Möglichkeiten zur dezentralen Energieerzeugung mithilfe eines elektrischen Bootsmotors, der im Umkehrbetrieb als Generator arbeitet, berichtet. Die hierfür notwendigen experimentellen Untersuchungen konnten 2021 zum größten Teil abgeschlossen werden.

Nachdem die grundsätzliche Eignung des Motors als Generator belegt wurde, ging es im folgenden Verlauf der Untersuchungen darum, Möglichkeiten zur Leistungssteigerung zu identifizieren. Die im *WasserJahr 2020* angesprochenen Untersuchungen zu Modifikationen am angebrachten Rotor lieferten leider keine Erfolge. Der standardmäßig am Motor angebaute Dreiblattrotor lieferte höhere Drehzahlen als sämtliche untersuchten Alternativen. Weder durch eine Vergrößerung, Verkleinerung noch eine Anpassung der Rotorblattzahl und -geometrie konnte eine weitere Leistungssteigerung erzielt werden.

Im nächsten Schritt wurde deshalb der Einfluss von Veränderungen der Anströmbedingungen untersucht. Dies geschah zum einen durch den Einsatz einer Turbinenummantelung und zum anderen durch Anpassungen mittels modularer, leicht zu fertigender Gerinneeinbauten.

In der Praxis bestehen Ummantelungen i.d.R. aus einem Konus, welcher entweder als Düse oder als Diffusor genutzt werden kann, um die Leistungsfähigkeit einer Turbine über das Betz-Limit hinaus zu erhöhen. Dieses besagt, dass einer Strömung maximal 59,3% der enthaltenen kinetischen Energie entzogen werden kann. Ebenso wie die restlichen Komponenten der Turbine, sollte auch die Ummantelung aus kostengünstigen und simplen Bauteilen mit geringem Aufwand handwerklich gut herstellbar sein. Als Material wurde ein PVC-Rohr mit einem Innendurchmesser von 400 mm verwendet. Aus diesem wurden an einer Seite Keile herausgeschnitten und die so entstandenen Kreissegmente unter Erwärmung nach innen gebogen. Das Rohr konnte somit, wie in Abbildung 35 dargestellt, auf den Querschnitt des verwendeten Dreiblattrotors verjüngt werden. Die Struktur wurde anschließend mithilfe von Kabelbindern fixiert und die verbliebenen Öffnungen in der Rohrwand abgedichtet.



Abbildung 35: PVC-Rohr mit ausgeschnittenen Segmenten (links); Stabilisierung und Abdichtung (rechts)

In der ersten Versuchsreihe wurde die entwickelte Ummantelung als frei in einer Versuchsrinne positionierte Düse, bzw. Diffusor getestet. Beim Einsatz als Düse konnte keine Drehzahlsteigerung der Turbine erreicht werden. Der in der Düse erzeugte Aufstau stellte hierbei einen zu großen Strömungswiderstand dar, sodass der größte Teil des Wassers am Gehäuse vorbeiströmte. Im Einsatz als Diffusor

Tabelle 1: Gemessene Strömungsgeschwindigkeiten und Wasserspiegellagen mit Düse und Querverbauung

Q [l/s]	v_o [m/s]	v_e [m/s]	v_a [m/s]	v_a/v_e [-]	v_u [m/s]	h_o [m]	h_u [m]	h_o-h_u [m]
90	0,20	0,68	1,60	2,35	1,75	0,50	0,35	0,15
100	0,25	0,72	1,65	2,29	1,8	0,54	0,37	0,17
110	0,30	0,80	1,75	2,19	2,0	0,58	0,38	0,20
120	0,32	0,83	1,95	2,35	2,25	0,62	0,40	0,22
130	0,34	0,91	2,05	2,25	2,30	0,68	0,41	0,27
140	0,34	0,95	2,25	2,37	2,40	0,73	0,43	0,30
150	0,35	0,98	2,35	2,40	2,55	0,79	0,45	0,34

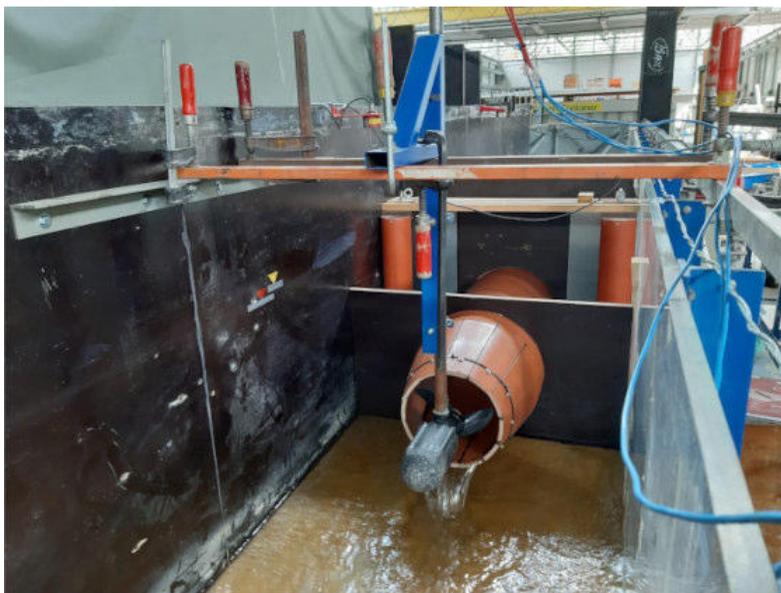


Abbildung 38: Am Düsenaustritt verbaute Turbine (links); verwendete Messelektronik (rechts)

Tatsächlich konnte durch die dargestellte Einfachst-Konstruktion der Strömungsbündelung die Leistungsfähigkeit der Turbine deutlich gesteigert werden. Bei den zuvor erfolgten Versuchsreihen, bei denen die Turbine frei in der Strömung positioniert wurde, konnten maximal Drehzahlen von etwa 600 U/min erreicht werden. Durch den Querverbau sowie die Düse konnte diese Drehzahl auf bis zu 1.200 U/min gesteigert werden. An der angeschlossenen Autobatterie konnten Ladenspannungen von bis zu 13 V und Ladeströme von bis 4 A gemessen werden. Dies entspricht einer Turbinenleistung von ca. 50 Watt. Diese Leistung wäre insbesondere bei ausreichenden Speichermöglichkeiten in Form von Autobatterien in der Lage, an Standorten in Entwicklungsländern eine grundlegende Energieversorgung bereitzustellen. Denkbare Einsatzgebiete wären beispielsweise die Versorgung von Beleuchtung, das Laden von Mobilgeräten oder der Betrieb von Computern.

In abschließenden Untersuchungen soll noch die Zuverlässigkeit der Anlage im Dauerbetrieb sowie der Einfluss der Stauhöhe am Querverbauwerk auf die Leistungsfähigkeit der Turbine untersucht werden. Alle Erkenntnisse und Empfehlungen sowie konkrete Skizzen und „Bau-, bzw. „Modifikationsanleitungen“ sollen schlussendlich dann in gut verständliche Leitfäden und Schulungsmaterialien zusammengefasst werden.

Forschung: Entwicklung von umweltfreundlichen Methoden zur Erzielung einer Sedimentdurchgängigkeit

Tobias Lohrey, M.Sc.

Projektförderer: Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Projektpartner: D-Sediment GmbH



Ziel des Projektes

Im Zuge des Forschungsprojektes sollen die Maßnahmen der Stauraumpülung sowie des kontinuierlichen Sedimenttransfers vergleichend am Stausee Bitburg eingesetzt sowie hinsichtlich ihrer ökologischen Verträglichkeit und der Entlandungseffizienz verglichen und optimiert werden. Aufgrund rechtlicher Restriktionen kann dort keine herkömmliche periodische Stauraumpülung durchgeführt werden. Stattdessen wird ein jährlich stattfindender Abstau als Ersatz eines Spülungsereignisses herangezogen und per Monitoring an zwei Messstationen in Form der Leitparameter Temperatur, Sauerstoffgehalt und Trübung überwacht. Auf Basis dieser Messergebnisse werden für den Standort Bitburg anhand numerischer Simulationen alternative Stauraumpülungen modelliert und bewertet.

Ergebnisse des Monitorings

Stauraumpülungen mit größeren Sedimentbewegungen haben im Allgemeinen hohe Sedimentkonzentrationen und folglich hohe Trübungswerte zur Folge. Gleichzeitig führt das Ausspülen des sauerstoffarmen, sohnahen Wassers zu einer Temperaturabsenkung und verstärkter Sauerstoffzehrung. In den Messergebnissen des Monitorings für den Abstau 2020 findet sich diese Charakteristik nicht wieder (Abbildung 39).

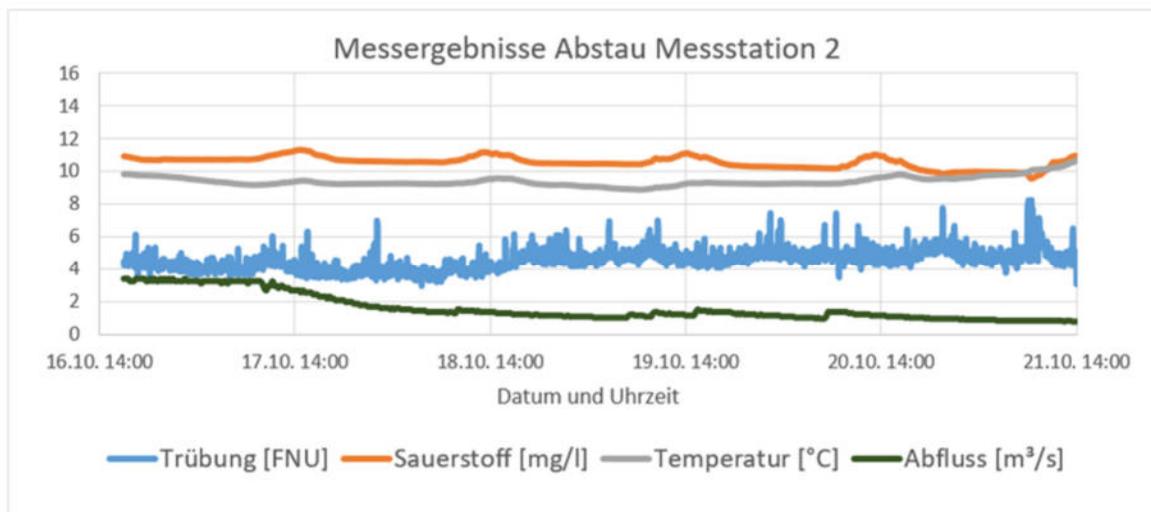


Abbildung 39: Vergleichende Zusammenstellung der Parameter Trübung, Temperatur, Abfluss und Sauerstoff während des Abstaus an Messstation 2

Bezüglich der an Station 2 überwachten Parameter sind keine nennenswerten Auswirkungen des Abstaus festzustellen. Die Trübungswerte verlassen die übliche Schwankungsbreite nicht, was sich auch bei konstant niedrigem Abfluss von unter $1 \text{ m}^3/\text{s}$ fortsetzt. Temperatur und Sauerstoffgehalt zeigen ebenfalls nur geringe Schwankungen. Dieselbe Charakteristik konnte an Messstation 1 festgestellt werden. Aus beiden Messstationen kann folglich keine Spülungswirkung sowie kein signifikanter Einfluss des Abstaus auf Morphologie und Ökologie der Prüm abgeleitet werden.

Kolmationsmessungen als ökologische Zustandsbewertung

Zur weitergehenden Untersuchung der ökologischen Folgen des Abstaus wurden anstelle der Ermittlung des Saprobienindex Kolmationsmessungen mittels Kolmameter nach HAHN und ZUMBROICH, jeweils im Oktober 2019 und 2020, eingesetzt (Stein et al. 2018). Hier entfallen die beim Saprobienindex erforderlichen langfristigen Messungen vor und nach der Maßnahmendurchführung, sowie die dabei auftretenden jahreszeitlichen Schwankungen. Das Prinzip der Kolmationsmessung ist die Bestimmung der Durchlässigkeit von Gewässersedimenten, indem der Wasserdurchfluss mit konstantem Druck über eine definierte Zeit aus einer an der Spitze perforierten und ins Gewässerbett eingebrachten Lanze gemessen wird (Abbildung 40, rechte Seite). Die Kolmation bewirkt durch die Verstopfung des Kieslückensystems eine Abflussreduktion gegenüber Messungen an der Luft, was eine im Labor ermittelte Einteilung von fünf Kolmameterklassen erlaubt, wobei Kolmameterklasse 1 „keine innere Kolmation“ und Kolmameterklasse 5 „vollständige innere Kolmation“ bedeuten. Es werden zehn Einzelmessungen durchgeführt, der daraus gebildete Mittelwert ergibt den Kolmationsgrad des betrachteten Gewässerabschnittes. (Stein et al. 2018, S. 754')

Für die Messungen aus 2019 ergab sich aus den in Abbildung 40 dargestellten zehn Einzelmessungen insgesamt die Kolmameterklasse 3 („mittlere innere Kolmation“), während in 2020 noch die Kolmameterklasse 2 („schwache innere Kolmation“) festgestellt werden konnte.

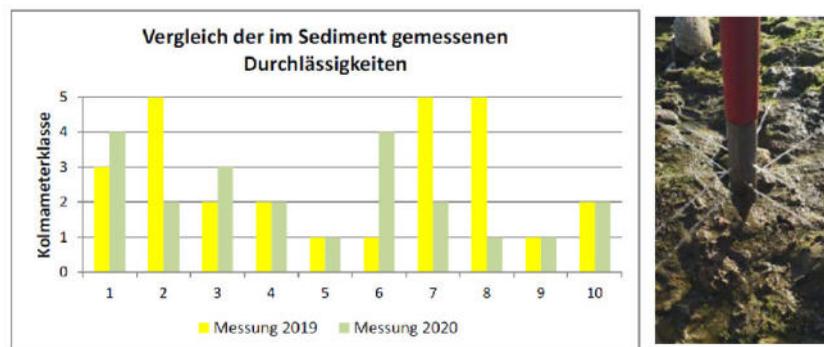


Abbildung 40: Zusammenstellung der Messergebnisse der Jahre 2019 und 2020 (links); Kolmameter mit perforierter Spitze bei Messung an Luft (rechts, Quelle: Stein et al. 2018)

Eine Ursache für starke Kolmation können hohe Konzentrationen an Feinsedimenten im Gewässer sein. Im Falle der Prüm haben die Messungen während und nach des Abstaus jedoch gezeigt, dass dies aufgrund der Auffangwirkung des Stausees Bitburg nicht grundsätzlich gegeben ist. Ausnahme können hier Hochwasserereignisse sein. Eine weitere Ursache für starke innere Kolmation kann die vollständige Unterdrückung der natürlichen Abflussdynamik durch Stauhaltungen und folglich das Ausbleiben natürlicher Hochwasserereignisse sein. Die so ausbleibende Umlagerung der Sedimente kann auch bei geringen Feinsedimentkonzentrationen im Gewässer langfristig zu innerer Kolmation führen, da das Freispülen der Porenräume durch Umlagerung unterdrückt wird. Die Messergebnisse zeigen für die Prüm ein ähnliches Kolmationsniveau innerhalb der letzten 2 Jahre, wobei die im Jahr 2020 durchgeführte Messung eine leichte Verbesserung des Kolmationsgrades ergab. Folglich kann für die Prüm auch im Unterlauf des Stausees Bitburg auf eine Abflussdynamik geschlossen werden, welche gewässerökologisch bedeutsame Sohlumlagerungen bewirken kann.

Modellierung von Stauraumspülungen

Für die Modellierung kommt das an der TU Darmstadt entwickelte Modell BMOR3D zum Einsatz. Im Zuge eines noch ausstehenden kontinuierlichen Sedimenttransfers sind Messungen der kritischen Schubspannungen der Sedimentablagerungen im Stausee geplant, welche ins Modell übertragen werden können und eine detailliertere Modellierung von Spülungsszenarien ermöglichen.

Um vorab Aussagen über die Wirkung von Stauraumspülungen treffen zu können, wurden für definierte Szenarien „Erosionskarten“ erstellt. Hierfür erfolgte die Modellierung unter Ausschluss mor-

phodynamischer Berechnungen. Stattdessen werden für die jeweiligen Szenarien die Abflussverhältnisse und die an der Gewässersohle auftretenden Schubspannungen in der Stauhaltung ermittelt. Eine Abschätzung der kritischen Schubspannungen der Sedimentablagerungen erlaubt dann eine Aussage über die Entlandungseffizienz der modellierten Maßnahme. Zunächst wurden dafür die kritischen Schubspannungen anhand der aus den Sohlproben ermittelten Bodeneigenschaften aus Literaturwerten bestimmt. Anschließend wurden die vorhandenen Unsicherheiten durch biologische Einflüsse und Konsolidierungsgrade abgeschätzt, da beide Effekte großen Einfluss auf die Erosionsstabilität haben. Entsprechend wurden verschiedene Auswertungen mit Zuschlägen vorgenommen, um biologische Verfestigung, bzw. Konsolidierung zu berücksichtigen. Die in den Simulationen verwendeten Abflussszenarien wurden aus den Hauptwerten des vor dem Stausee Bitburg liegenden gewässerkundlichen Pegels Echtershausen abgeleitet. So konnten für die Modellierung realitätsnahe Abflussbedingungen sichergestellt werden. Exemplarische Ergebnisse der Modellierung sind in Abbildung 41 dargestellt.

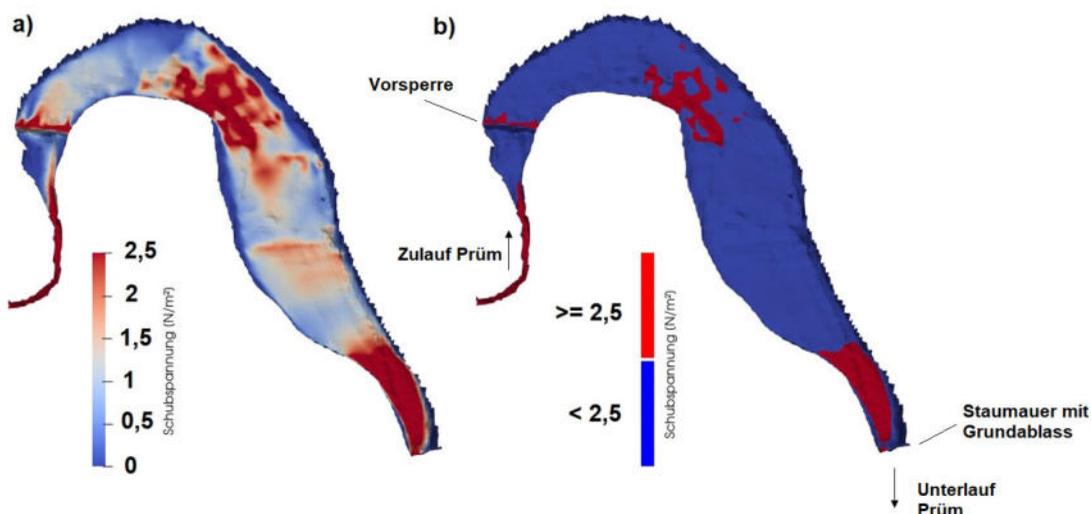


Abbildung 41: Darstellung der Ergebnisse der Modellierung für eine kritische Schubspannung von $2,5 \text{ N/m}^2$ mit Abstufungen (a) und ohne Abstufungen (b)

Aus den Ergebnissen wird deutlich, dass selbst für die niedrigste anzunehmende kritische Schubspannung von $2,5 \text{ N/m}^2$ bei einem Spülvorgang keine großflächige Erosion zu erreichen ist. Die hohe Wasserabgabe steht bereits hier in keinem Verhältnis zum erzielten Nutzen, da lediglich der Bereich vor dem Absperrbauwerk flächendeckend höhere Schubspannungswerte erreicht. Im restlichen See ist eine Entlandung über Spülungen nicht durchführbar.

Auswertungen der Messungen aus den letzten Jahren bestätigen dies, indem sie eine stetig zunehmende Verlandung anzeigen. Entsprechend ist eine lange Verweildauer der Sedimentablagerungen gegeben, was zu starker Konsolidierung der Schichten führt. Die dadurch voranschreitende Entwässerung der abgelagerten Sedimentschichten konnte bei Entnahme und Begutachtung der entnommenen Tiefenproben festgestellt werden. Bereits ohne Annahme einer Konsolidierung ist durch die Bodenbeschaffenheit eine großflächige Erosion kaum zu realisieren. Wird die Verweildauer der Sedimente und die Konsolidierung über Jahre einbezogen (was eine Verzehnfachung der kritischen Schubspannung bewirken kann), kann die Räumung über einen Spülvorgang ausgeschlossen werden. Daher bleibt für den weiteren Projektverlauf nun abzuwarten, welche Effektivität die Methode der kontinuierlichen Sedimentweitergabe bewerkstelligen kann. Aufgrund verwaltungsrechtlicher komplexer Vorgaben als auch Überforderungen beim Talsperrenbetreiber hat sich der Projektverlauf enorm verzögert und es bleibt zu hoffen, dass 2022 dann tatsächlich die für 2020 anvisierten Versuche zur kontinuierlichen Sedimentweitergabe durchgeführt werden können.

[1] Stein et al. (2018): Verhindert Kolmation das Erreichen des guten ökologischen Zustands der Fließgewässer? Korrespondenz Wasserwirtschaft 2018(11) Nr. 12 S. 753-758.

Forschung: Der Einsatz von Wärmeübertragern in wasserbaulichen Systemen und seine numerische Abbildung

Jessika Gappisch, M.Sc.

Ankunft am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Seit Anfang 2021 darf ich Teil des Fachgebiets Wasserbau und Hydraulik am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft sein und das Team als wissenschaftliche Mitarbeiterin verstärken.

In den vergangenen Semestern habe ich die Arbeit und das Team am Fachgebiet als studentische Hilfskraft und im Rahmen meiner Abschlussarbeiten bereits kennengelernt. Ende 2020 konnte ich meine Masterarbeit „Thermofluidynamische Grenzschichtprozesse bei hydrothormaler Nutzung von Fließgewässern“ abschließen und freue mich, nun seit Mitte Februar 2021 als wissenschaftliche Mitarbeiterin fest am Fachgebiet tätig zu sein. Im Rahmen einer Landesstelle unterstütze ich Katharina Bensing in der Lehrstuhlkoordination. Hierfür hat mich Katharina Bensing engagiert in die Aufgaben des Lehrstuhls, wie z.B. die Organisation schriftlicher Prüfungen, eingearbeitet.

Zusammen mit Steve Borchardt bin ich in der Arbeitsgruppe zur wärmeenergetischen Nutzung von Oberflächengewässern angesiedelt. Sowohl in meiner Bachelorarbeit als auch in meiner Masterarbeit habe ich mich mit Aspekten der Flusswärmenutzung beschäftigt und wurde dabei von Steve Borchardt wissenschaftlich betreut. Nun befassen wir uns gemeinsam mit Fragestellungen zum Wärmepotenzial von Oberflächengewässern, zur Eignung von Standorten hinsichtlich einer Flusswärmennutzung und zum Einsatz von Wärmeübertragern in Gewässern. Dabei soll mein Schwerpunkt auf dem Einsatz von Wärmeübertragern in Fließgewässern liegen.

Ideen für den Forschungsweg

Forschungstechnisch visiere ich eine Kombination aus anwendungsbezogener Forschung und Grundlagenforschung an. Im Hinblick auf die Spaltabstände der Wärmeübertrager-Platten soll der Frage nach einem qualitativen und quantitativen Zusammenhang zwischen Strömungswiderstand, Wärmedurchgang und Platzbedarf nachgegangen werden. Dieser anwendungsbezogene Forschungsaspekt baut auf der Fragestellung und den Ergebnissen meiner Masterarbeit auf und soll über experimentelle Untersuchungen konkret beleuchtet werden. Ziel ist, unter für den Wärmeübergang günstigen hydraulischen Bedingungen den Platzbedarf des Wärmeübertragers im Gewässer so gering wie möglich zu halten. Um den Eingriff ins Gewässer gering zu halten, soll neben der Platzminimierung auch der Ansatz verfolgt werden, Wärmeübertrager dort zu integrieren, wo ohnehin wasserbauliche Systeme im Gewässer betrieben werden und entsprechend schon eine anthropogene Nutzung vorhanden ist. Wasserbauliche Systeme können hier z.B. Wasserkraftwerke, Schleusen, Häfen, Schiffe oder Sohlenbauwerke sein. Um entsprechende Möglichkeiten zu ermitteln, sollen Potenzialstudien zu verschiedenen Systemen durchgeführt werden. Dabei spielen zum Beispiel die Positionierungsmöglichkeit für den Wärmeübertrager und die Nähe zum Nutzer eine Rolle. Auch Fragen nach z.B. dem für je nach wasserbaulichem System geeignete Material oder die geeignete Geometrie des Wärmeübertragers sollen beleuchtet werden. Wenn sich hier vielversprechende Potenziale zeigen, ist ein Pilotprojekt mit entsprechenden Kooperationspartnern denkbar.

Grundlagenforschung soll speziell am Wärmeübertrager erfolgen. Hier soll das Thema der Spaltabstände aufgegriffen und die an den Platten auftretenden laminaren Grenzschichten genauer beleuchtet werden. Unter anderem soll folgenden Forschungsfragen nachgegangen werden: Wie und unter welchen Bedingungen entwickelt sich die laminare Grenzschicht? Wie kann sie möglichst geringgehalten oder gar aufgelöst werden? Welche Geometrien bieten sich entsprechend zur Optimierung des Wärmeübergangs an?

In Form einer Mindmap sind die Forschungsideen für meine Promotion in Abbildung 42 zusammengefasst. Dabei finden sich die bisher beschriebenen Aspekte in den Schaubild-Kreisen „Einsatz des Wärmeübertragers unmittelbar im Fließgewässer“ und „Neue Einsatzgebiete für Wärmeübertrager im Wasserbau“ wieder.

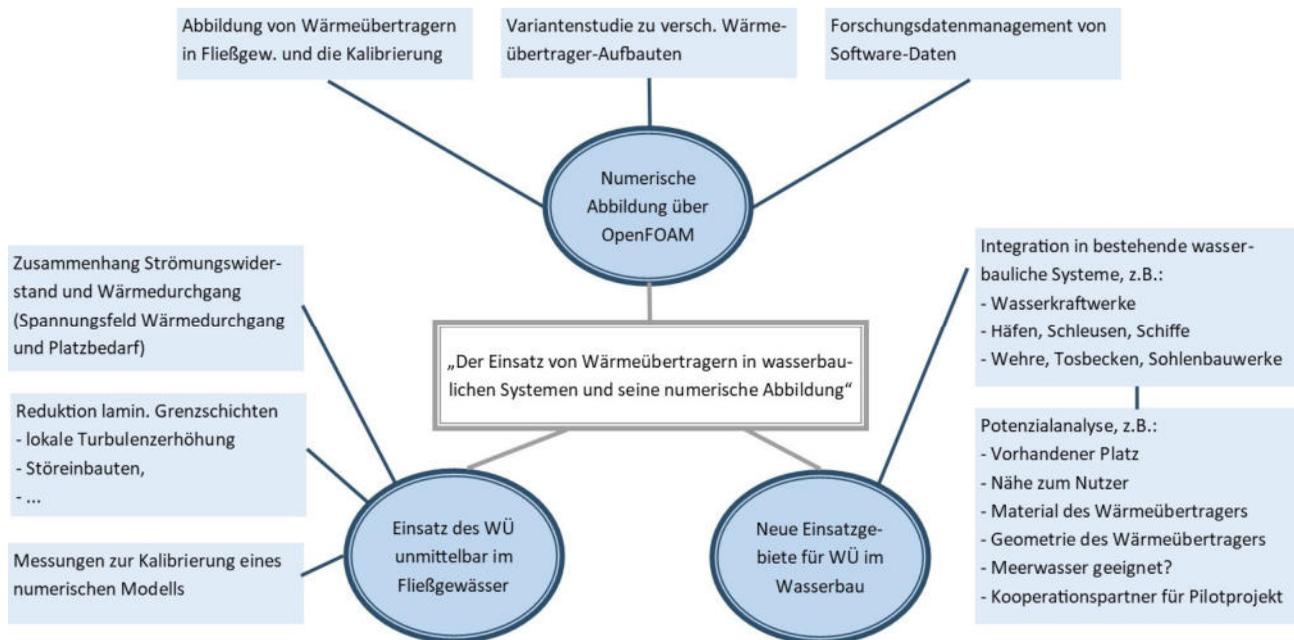


Abbildung 42: Mindmap zu den angedachten Forschungsthemen einer Promotion

Der letzte Schaubild-Kreis „Numerische Abbildung über OpenFOAM“ in Abbildung 42 stellt die dritte Säule der Promotionsidee dar. Zugleich ist die numerische Modellierung thermofluidodynamischer Prozesse die Schnittstelle zwischen der anwendungsbezogenen Forschung und der Grundlagenforschung. Über OpenFOAM (frei verfügbare CFD-Software) sollen gleichzeitig sowohl hydraulische Verhältnisse als auch thermodynamische Prozesse abgebildet werden. Damit können sowohl experimentelle Untersuchungen zu den Spaltabständen der Wärmeübertrager-Platten (anwendungsbezogene Forschung) unterstützt werden als auch Variantenstudien zur Grenzschichtbeeinflussung (Grundlagenforschung) durchgeführt werden. Ein grundlegender und herausfordernder Baustein für das Befassen mit diversen Forschungsfragen ist zunächst das Aufbauen eines funktionsfähigen OpenFOAM-Modells. Die Wahl geeigneter Löser, Diskretisierungsschemata und physikalischer Annahmen bzw. soll über das Abbilden des wärme- und strömungstechnischen Versuchsstands des Fachgebiets Wasserbau und Hydraulik erfolgen. Das hat den Vorteil, dass weitere Einfluss, die nicht Ziel der Arbeit sind, wie z.B. die Interaktion mit Vegetation oder zeitlich und räumlich ungleichmäßige Strömungsverteilungen, nicht berücksichtigt werden müssen. Die relevanten physikalischen Größen können unter kontrollierbaren Bedingungen gemessen werden, was eine Modellkalibrierung überhaupt erst möglich macht.

Da sowohl das Einarbeiten in OpenFOAM als auch der Umgang mit Software-Forschungsdaten mit großen Herausforderungen verknüpft ist, ist das Fachgebiet eine Kooperation mit einem TUD-internen NFDI4Ing-Team eingegangen: Beim Umgang mit Forschungsdaten geht es vornehmlich um deren Erhebung, Aufbereitung, Dokumentation, Speicherung und Veröffentlichung. Beim Arbeiten mit Softwaredaten muss nicht nur der Umgang mit Simulationsergebnissen als Form der Forschungsdaten gemanagt werden. Es geht auch darum, wie die Simulationsergebnisse den entsprechenden Eingabeparametern nachvollziehbar zugeordnet werden. Eingabeparameter können dabei Stoffwerte sein, aber auch physikalische Annahmen, Diskretisierungsschemata, Löser etc. Damit hier ein guter Umgang mit OpenFOAM etabliert und ein geeignetes Forschungsdatenmanagement eingeführt werden kann, beteiligen wir uns am Projekt der „NFDI4Ing Knowledge Base“. Die „Knowledge Base“ wird gerade errichtet und beschreibt eine Datenbank, deren Ziel es ist, Ingenieur:innen wichtige Werkzeuge aus der Informatik zum nachhaltigen Umgang mit Software näherzubringen.

Gaseinschlüsse: Wasserbau-geotechnische Versuche an einem Deichmodell

Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Auftraggeber: GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden



Projektpartner: Institut für Geotechnik, TU Darmstadt
Fachgebiet Geodätische Messsysteme und
Sensorik, TU Darmstadt



Forschungsprojekt

Im Rahmen des von GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden durchgeführten Projekts aus dem Themenbereich Hochwasserschutz und Rheologie wurden unter anderem wasserbaulich-geotechnische Versuche an einem Deichmodell im halbtechnischen Maßstab an der TU-Darmstadt durchgeführt. Dabei stand die Untersuchung des Einflusses von Gaseinschlüssen unter bindigen Deckschichten an Flussdeichen im Hochwasserfall im Zentrum des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens. Im Jahr 2021 wurden hierzu in der Versuchsrinne des Wasserbaulichen Forschungslabors der TU Darmstadt Modellversuche an einem Deichausschnitt durchgeführt. Die im Zuge der Versuche experimentell beobachteten Ereignisse, sowie die sensorisch erfassten Prozessgrößen während des Grundbruchs unter Einfluss eines makroskopischen Gaseinschlusses dienen im weiteren Verlauf des Projekts als Grundlage zur Bewertung eines womöglich höheren Risiko- und Schadenspotentials infolge eines Gaseinschlusses. Ein wesentliches Ziel der Versuche war es, eine solide Datengrundlage zu erarbeiten, die für eine erfolgreiche Bewertung und Beurteilung des Grundbruch- und Schadensrisikos an Flussdeichen unter Einfluss von Gaseinschlüssen dient. Durch den gezielt auf das Versagen einer dichtenden, undurchlässigen Bodenschichtung abgestimmten Versuchsaufbau (siehe Abbildung 43 und Abbildung 44) konnte für drei unterschiedliche Setups mit dem Einbau verschiedener Bodenschichtungen über einer wasserführenden, artesisch gespannten Bodenschicht der gewünschte Versagensmechanismus (Gasexpansion) beobachtet und messtechnisch erfasst werden.

Versuchsaufbau

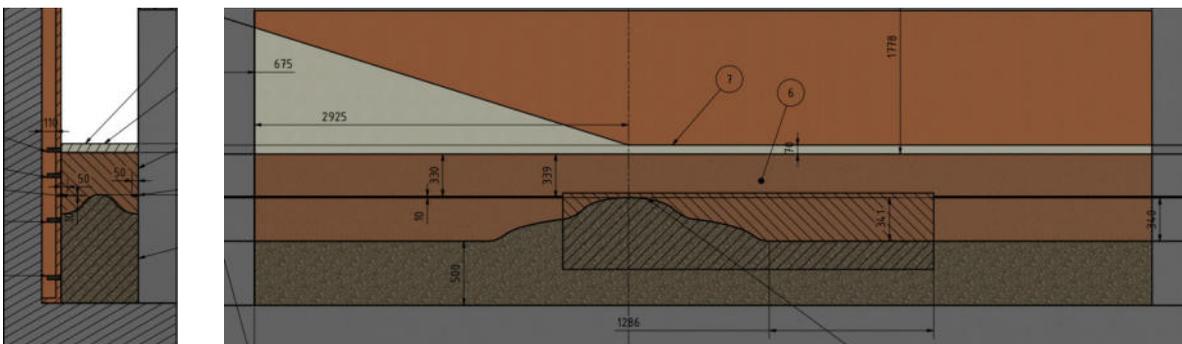


Abbildung 43: Links: Querschnitt im Bereich des Hochpunkts des vorgeformten Kieshügels, rechts: Längsschnitt in Rinnenachse zur Darstellung der verschiedenen Schichtungen. Kiesschicht untenliegend mit vorgeformtem Hügel als „Sollbruchstelle“, darüber liegende Tonschicht und Sandaufschüttung mit Böschung)

Die eingesetzte Mess-Sensorik lieferte für die Auswertung eine umfassende und verlässliche Datengrundlage. Hierbei wurde die für die in den Bodenschichten angeordneten Druckmessungen erforderliche Sensorik und das notwendige Zubehör von einem vorgelagerten FuE-Projekt übernommen und von GIP für den Einbau und Betrieb durch das FG Wasserbau und Hydraulik bereitgestellt. Die übrigen Sensoren für die Wasserspiegellagenbestimmungen, Füllstands- und Durchflussmessungen sowie Potenzial-/Druckmessungen entlang der Kiesschichtsohle wurden vom FG Wasserbau und Hydraulik zur Verfügung gestellt, installiert und erfolgreich eingesetzt.

Während und nach dem (Wieder-)Einbau des Bodenmaterials im Bereich der Versagensstelle wurde zur Überprüfung des Einbauzustands eine Vermessung der Kiesschicht inklusive des vorgeformten Keshügels vorgenommen (siehe Abbildung 44). Der vorgeformte Keshügel diente dazu, einen Luftteinschluss unterhalb der dichtenden Tonschicht zu erzeugen, welcher dann durch den sukzessiven Anstieg des einstauenden Wasserstands im Versagensfall „explosionsartig“ entweicht und Schäden verursacht. Für die Dokumentation des Einbaus wurde ein terrestrischer Laserscanner (TLS) eingesetzt, bevor die oberhalb der Kiesschicht angeordnete Tonschicht modelliert wurde. Ein Ergebnis der Vermessung mit dem TLS ist auf Abbildung 45 und Abbildung 46 dargestellt.



Abbildung 44: Links: eingebauter Deichquerschnitt mit Ansicht durch das Beobachtungsfenster, mitte: Einbau des Keshügels zur Bildung des Luftpolsters, rechts: Oberhalb der abgedeckten Tiefrinne angeordnete Messtechnik

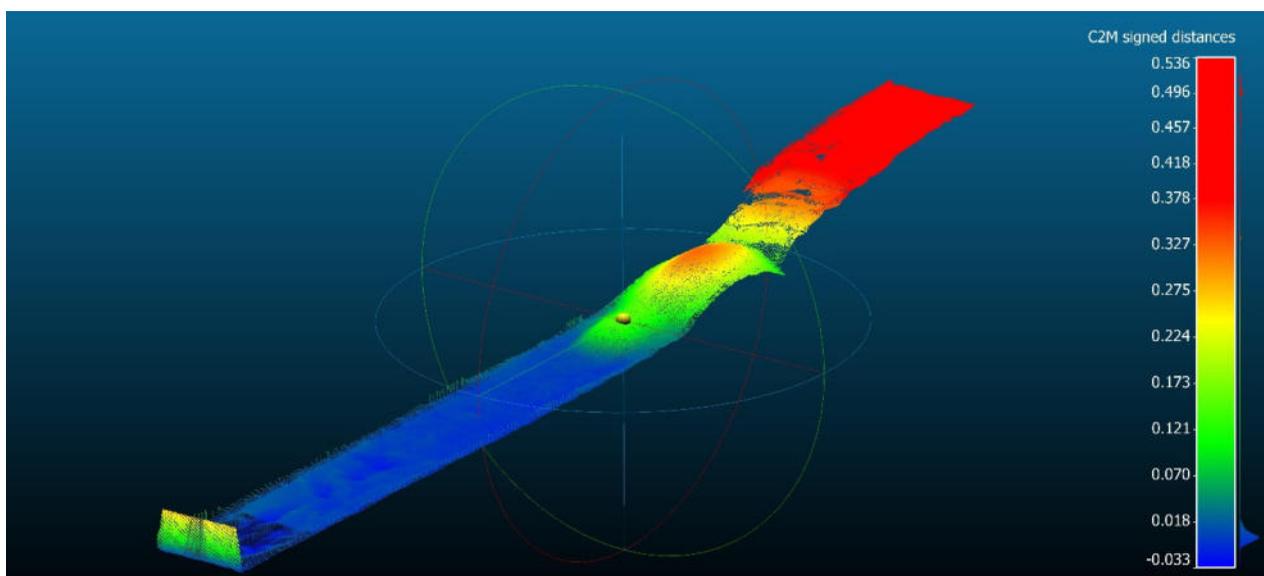


Abbildung 45: TLS-Messung im Tiefrinnenbereich: Oberer Bereich (in rot) zeigt den beginnenden Einbau- fortschritt der Tonschicht

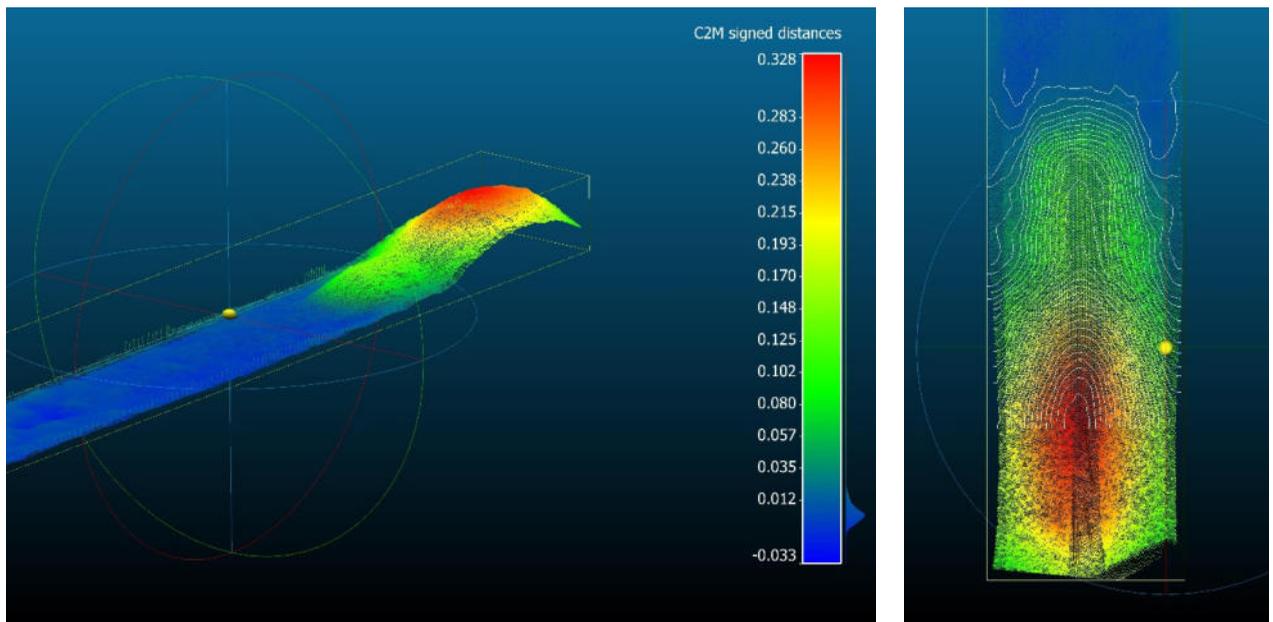


Abbildung 46: Links: TLS-Messung im Tiefrinnenbereich: Mit Ton gefüllter Bereich abgeschnitten. Blauer Bereich zeigt die Oberkante der Kiesschicht, rechts: TLS-Messung im Tiefrinnenbereich: Hälftiger Bereich des Kieshügels dargestellt. Schnitt durch den Hochpunkt (in Querrichtung).

Aus den Versuchsdurchführungen konnte der Einfluss des Gaseinschlusses auf das Grundbruchverhalten nachvollzogen werden. Die Ergebnisse aus den Modellversuchen an der TU Darmstadt haben dabei die Ergebnisse der Vorversuche aus dem Technikum der GIP bestätigt. Hohe Anforderungen ergaben sich bei der Versuchsdurchführung bei dem Einbau, der Vorbereitung („Anmischen“ der dichtenden Ton-Schicht) und beim Rück- und Wiedereinbau der entsprechenden Materialien im Versagensbereich der modellierten Ausschnitte. Eine ebenso hohe Anforderung war die Vermeidung von Umläufigkeiten durch die dichtende Bodenschicht (z.B. Rissbildung oder Seitenwandeinfluss) und der fachgerechte Einbau der im Verhältnis zur Rinnenbreite relativ großen Mächtigkeit der dichtenden Tonschicht, was in der relativ schmalen Rinne mit besonderer Aufmerksamkeit umzusetzen war.

Die Befüllung der Rinne, der sorgfältige Einbau der Schichtungen und die Vorbereitungen inklusive der Trocknungszeit für die Bereitstellung einer adäquaten Feuchtigkeit der dichtenden Tonschicht mussten dabei fallbezogen berücksichtigt und ggf. angepasst werden.

Versuchsdurchführung und Ergebnisverwertung

Die seitliche Verglasung der Tiefrinne im wasserbaulichen Forschungslabor hat die visuelle Beobachtung der Prozesse (Massenumlagerungen bei einsetzendem Versagensmechanismus/-prozess) während der Versuchsdurchläufe ermöglicht. Zudem wurden Kameras oberhalb der abgedeckten Tiefrinne angeordnet, um den Versuchsablauf zu dokumentieren. Weiterhin wurde in Achsenmitte ein Linien-scan versuchsbegleitend durchgeführt, um zu verfolgen inwieweit Verformungen an der Oberfläche erkennbar sind. Im Rahmen der Versuche wurden die eingebauten Deiche bis zum Grundbruch hydraulisch belastet. Die dabei gewonnenen Daten werden derzeit in dem noch laufenden Forschungsprojekt weiterverarbeitet, um bspw. numerische Prozesssimulationen kalibrieren oder validieren zu können.

Darüber hinaus werden die gegebenen Anknüpfungspunkte für fortsetzende und weiterführende Arbeiten vertieft untersucht, um insbesondere das Potenzial für weitere Forschungsanträge und -projekte auszuschöpfen. Entsprechende Fachpublikationen sind in Arbeit.

Forschung: Seewasserwärme in Darmstadt

Steve Borchardt, M.Sc. und Prof. Boris Lehmann

Projektförderer: Claus Wisser Verwaltungs- und Beteiligungs GmbH & Co. KG, WENTZ & CO. GmbH

Veranlassung, Projektgebiet und Auftrag

Am nördlichen Innenstadtrand von Darmstadt ist ein Wohnquartier mit einer Wärmeversorgung über einen zentral gelegenen See geplant. Dazu soll im See eine Wärmeentnahme installiert werden, welche die im Seewasser gespeicherte Umweltwärme an ein kaltes Nahwärmenetz abgibt. Das kalte Nahwärmenetz transportiert die Umweltwärme anschließend zu den 47 Wohngebäuden, wo Wärmepumpen den Wärmebedarf dezentral decken.

Im Norden Darmstadts wurden im frühen 19. Jahrhundert Ton und Lehm abgebaut und vor Ort in einer Ziegelei weiterverarbeitet. Durch den Materialaushub entstanden Gruben, die sich vom Karlshof bis zum Untersuchungsgebiet Kastanienallee ausdehnten. Nach Beendigung des Abbaus füllten sich die Gruben entweder mit Grund- und Niederschlagswasser oder wurden verfüllt. Vier dieser Gruben existieren noch heute und wurden als künstliche Gewässer kultiviert. Mit dem Moorteich, Maschinenteich und Müllersteich liegen drei dieser vier Abgrabungsseen im Bürgerpark Nord, während sich der vierte Abgrabungssee „Teich ohne Namen“ auf dem Grundstück des geplanten Wohnquartiers befindet. Im Vergleich zu den anderen Seen im Stadtgebiet weist der „Teich ohne Namen“ mit 0,57 ha die geringste Wasserfläche und nach der Grube Prinz von Hessen mit 4,6 m die größte mittlere Wassertiefe auf. Durch die maximale Wassertiefe von etwa 9,5 m bewirkt der Wind nur in der obersten Wasserschicht eine ganzjährige Durchmischung. In den unteren Wasserschichten stellt sich dagegen eine stabile Temperaturschichtung ein, die im Frühjahr und im Spätherbst im gesamten Wasserkörper umgewälzt wird.

Das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik der Technischen Universität Darmstadt untersucht auf Basis von Messungen und Modellierungen, ob der See den Wärmebedarf des Wohnquartiers nachhaltig decken kann. Dies erfordert eine Bilanzierung des Wärmeinhalts für das Seevolumen von etwa 26.500 m³ und ob eine ausreichende thermische Regeneration des Sees gegeben ist. Ergänzend werden die Auswirkungen der erwarteten Klimaänderung auf den See betrachtet und wie diese bei der zukünftigen Nutzung des Sees zu berücksichtigen sind.

Wärmebilanzierung und verwendete Datengrundlagen

Die Projektgesellschaft erfasst im See seit Dezember 2018 mit einjähriger Unterbrechung die Temperaturen in verschiedenen Wassertiefen. Die vertikalen Temperaturprofile geben Auskunft darüber,

- ob eine stabile sommerliche Temperaturschichtung vorliegt,
- wann eine vollständige Durchmischung des Wasserkörpers stattfindet und
- wieviel Wärme im Wasserkörper gespeichert ist.

Die geprüften und BIAS-korrigierten Wassertemperaturen und Wassertiefen wurden verwendet, um ein Seemodell (GENERAL LAKE MODEL) zu kalibrieren und zu validieren. Als Eingangsdaten dienten die bathymetrischen Daten der Gewässervermessung, meteorologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes für die Messstationen in Darmstadt (917) und am Frankfurter Flughafen (1420), die gemessenen Sichttiefen und der unterirdische Zu- und Abfluss, welcher aus den Messstellen 12754 und 15292 des Landesgrundwasserdienstes abgeleitet wurde. Aus vorherigen Forschungsprojekten an der TUDa und aus eigenen Messungen konnten die Grundwassertemperaturen im Nahbereich des Untersuchungsgebiets als weitere Wärmequelle berücksichtigt werden. (Abbildung 47).

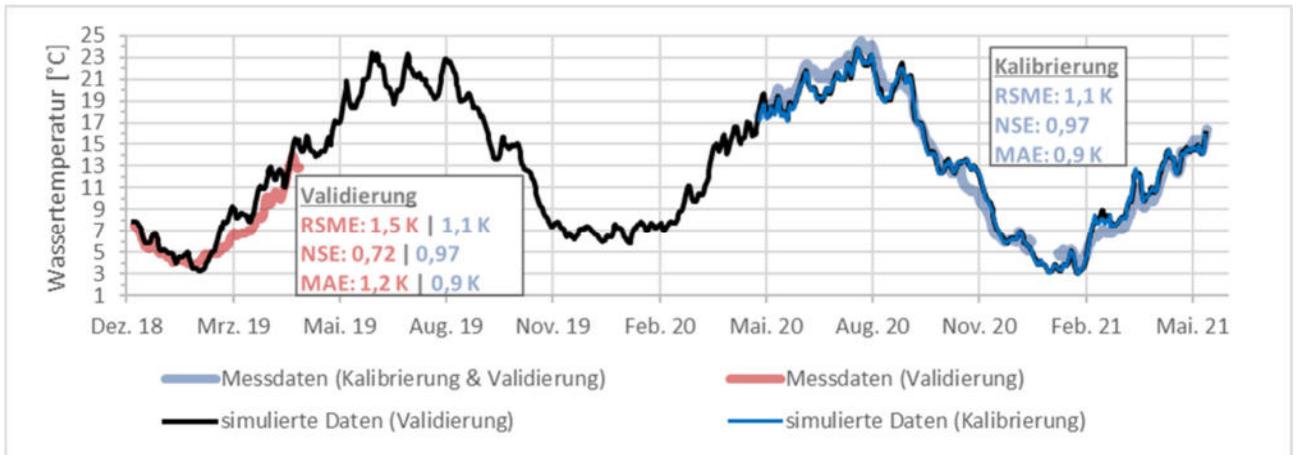


Abbildung 47: Tagesmittel der gemessenen Gesamttemperatur im See für die Modellkalibrierung und -validierung sowie simulierte Gesamttemperatur im General Lake Model. Für den Kalibrierungs- und Validierungsprozess beschreiben die Fehlermaße Root-Mean-Square Error (RSME), Nash-Sutcliffe Modelleffizienzkoeffizient (NSE) und Mean Absolute Error (MAE) die Modellgüte. Die Gesamttemperatur ist aus den Wassertemperaturen in fünf verschiedenen Wassertiefen gebildet und über das Wasservolumen gewichtet.

Mit dem kalibrierten GENERAL LAKE MODEL wurden Wärmebilanzierungen des Sees für den natürlichen Zustand und für den gestörten Zustand mit der geplanten Wärmeentnahme erstellt. Zur Simulation der Wärmeentnahme wurde dem modellierten See Wasser in einer Wassertiefe von 4,5 m oder 6,5 m „entnommen“ und anschließend mit einer niedrigeren Temperatur „zurückgegeben“. Je mehr Wärme im Modell vom Seewasser an das kalte Nahwärmenetz „abgegeben“ wird, desto größer ist die Temperaturdifferenz zwischen der Entnahme- und Rückgabetemperatur. Diese Temperaturdifferenz als auch die erforderliche Wasserentnahmemenge wurden gemäß Berechnungsergebnissen der Wärmebedarfs-ermittlung für das Quartier im Modell eingestellt.

Die erwarteten Klimaänderungen auf den See wurden im GENERAL LAKE MODEL mit einem moderaten Strahlungsantrieb von $4,5 \text{ W/m}^2$ für den Zeitraum 1971-2070 projiziert. Dieses Emissionsszenario RCP4.5 bildet die Klimaänderungen ab, die zukünftig mindestens zu erwarten sind. Als Eingangsdaten für das GENERAL LAKE MODEL diente das Kern-Ensemble aus sechs Klimaprojektionen des Deutschen Wetterdienstes, welche die unterschiedlichen möglichen Zustände des zukünftigen Klimas für das betrachtete Emissionsszenario beschreiben. Zunächst wurde geprüft, wie zuverlässig die projizierten Wassertemperaturen die simulierten Wassertemperaturen des meteorologischen Beobachtungsdatensatzes HYRAS repräsentieren. Abschließend wurde bewertet, wie signifikant und robust die mit den Simulationen prognostizierten Änderungen der Wassertemperatur sind.

Ergebnisse: Simulierte Wärmeentnahme aus dem „Teich ohne Namen“

Die simulierten Wärmeentnahmen zeigen, dass der See den Wärmebedarf des Wohnquartiers alleine decken kann und als natürlicher Wärmespeicher über ein ausreichendes thermisches Regenerationsvermögen verfügt (Abbildung 48).

Durch die Wärmeentnahme wird mit dem Modell gegenüber dem Ist-Zustand im Jahresmittel eine Änderung der Gesamttemperatur von etwa $-0,7 \text{ K}$ prognostiziert, was noch innerhalb der natürlichen Schwankungen liegt. Auch das Durchmischungsverhalten des Wasservolumens wird durch die Wärmeentnahme gemäß den Simulationsergebnissen *nicht signifikant* beeinflusst. In Abhängigkeit der simulierten Entnahmetiefe werden bei der Wärmeentnahme die größten temporären Temperaturänderungen entweder im Herbst mit $-1,3 \text{ K}$ oder im Sommer mit $-1,9 \text{ K}$ erwartet.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Art der Wärmeentnahme und die Wahl der Entnahmetiefe die Temperaturänderungen im See *nicht signifikant* beeinflusst werden. Abweichend zu den simulierten Wärmeentnahmen sieht die aktuelle Projektplanung vor, nicht den gesamten Wärmebedarf aus-

schließlich aus dem See zu entnehmen, sondern auch durch weitere Wärmequellen im kalten Nahwärmenetz zu decken. Daher wird das anvisierte Verfahren der umweltschonenden Energieversorgung des geplanten Wohnquartiers als realisierbar angesehen.

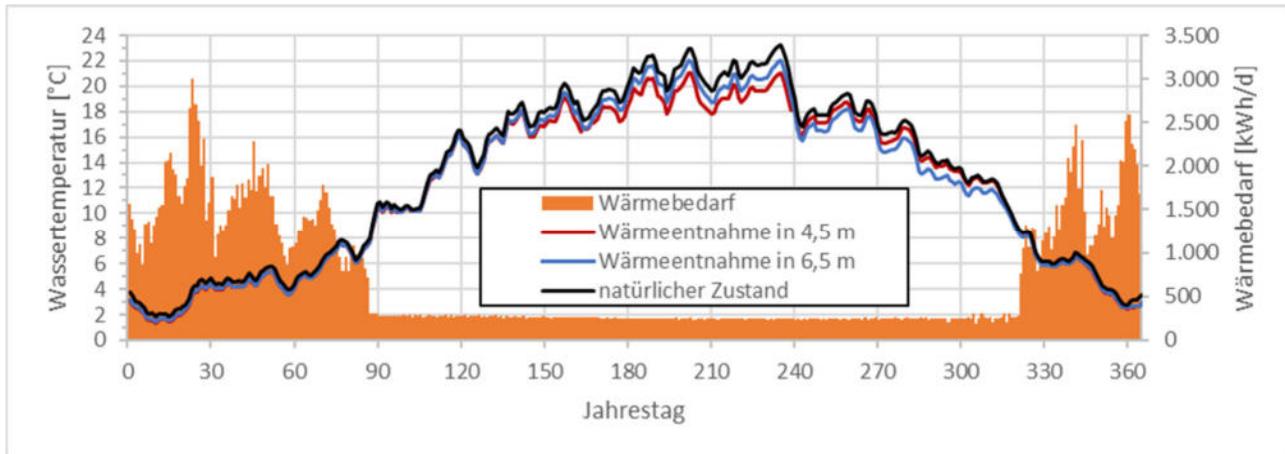


Abbildung 48: Jahresganglinie des Wärmebedarfs und der Gesamttemperatur für den natürlichen Zustand ohne Wärmeentnahme und gestörten Zustand mit Wärmeentnahme in verschiedenen Tiefen

Ergebnisse: Berücksichtigung der Klimaveränderung

Zum Referenzzustand (1971-2000) zeigt das Gegenwartsklima (1991-2020) gemäß den Simulationsergebnissen bereits eine Temperaturzunahme des Seewassers von 0,4 K. Diese Temperaturzunahme liegt innerhalb der erfassten natürlichen Schwankungen und kann daher nicht zuverlässig auf eine Klimaveränderung zurückgeführt werden (Abbildung 49). Für die nahe (2021-2050) und die mittlere Zukunft (2041-2070) prognostiziert das Modell für das Seewasser Temperaturzunahmen von $1,1 \text{ K} \pm 0,3 \text{ K}$ bis $1,5 \text{ K} \pm 0,35 \text{ K}$.

Die Ergebnisse der Klimaprojektionen zeigen, dass der Einfluss der Wärmeentnahme die Temperaturen im „Teich ohne Namen“ künftig weniger beeinflussen wird als die zu erwartenden Klimaänderungen. Auch wird der Wärmebedarf durch die Klimaänderungen zukünftig abnehmen, was sich auch auf die Wärmeentnahme aus dem See auswirken wird. Durch die Wärmeentnahme besteht zudem eine Chance, die Klimaänderungen auf den „Teich ohne Namen“ teilweise abzuschwächen und den Temperaturstress der aquatischen Lebewesen zu verringern.

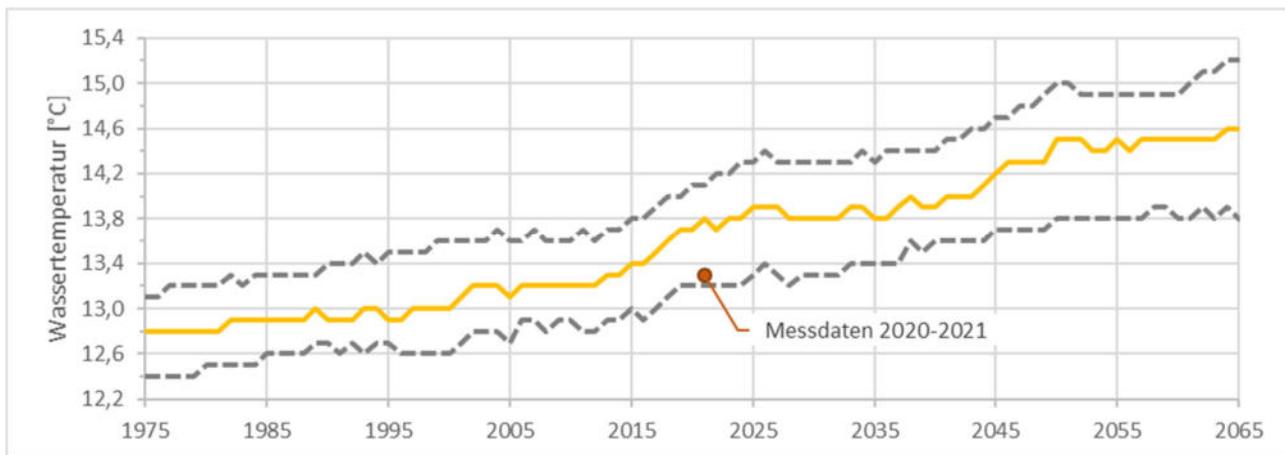


Abbildung 49: Ensemblemedian der projizierten Gesamttemperaturen als 10-jähriges gleitendes Mittel (gelbe Volllinie) und die 15. und 85. Perzentile als Vertrauensbereich (graue Strichlinie). Der Vertrauensbereich enthält die Bandbreite der wahrscheinlichen Klimaänderungen und wird von 2/3 der verwendeten Klimaprojektionen abgebildet.

Forschung: Entwicklung eines modularen Wendelfischpasses

Steve Borchardt, M.Sc.

Projektförderer: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



Projektpartner: Ingenieurbüro Bröggelhoff GmbH, SBI Siemke & Co. Brücken- und Ingenieurbau GmbH



Veranlassung

Durch die anthropogenen Nutzungsanforderungen und dem damit verbundenen Ausbau vieler Gewässer ist die Durchgängigkeit durch zahlreiche technische Querbauwerke unterbrochen. Insbesondere Fische müssen für ihre Fortpflanzung und Nahrungssuche ausgedehnte Wanderungen im Gewässer unternehmen, um die Lebensbedingungen vorzufinden, die sie in den verschiedenen Lebensphasen benötigen. Die freie Passierbarkeit der Gewässer ist damit zur Ausbreitung der Arten und zudem zur Wiederbesiedlung nach Hochwasserereignissen wichtig.

Die derzeitigen Lösungen für Aufstiegsanlagen sind insbesondere bei beengten räumlichen Gegebenheiten oder bei hohen Staustufen nicht umfassend anwendbar (Abbildung 50). Grund dafür ist die Gestaltung von Fischaufstiegsanlagen mit einer möglichst geradlinigen Linienführung. Eine Änderung der Gefälleverhältnisse oder der Trassenführung führt jedoch innerhalb der Fischaufstiegsanlage zu einer kaum planbaren Veränderung der hydraulischen Verhältnisse. Im schlimmsten Fall kann dies dazu führen, dass sich Fische innerhalb der Aufstiegsanlage nicht mehr an der Strömung orientieren können und die Anlage nicht passierbar ist.

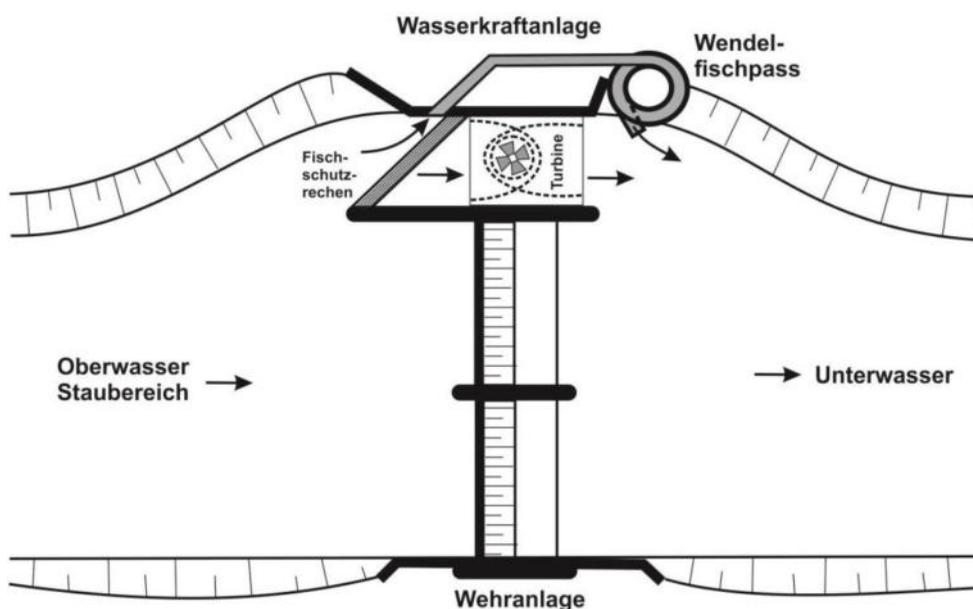


Abbildung 50: Skizzierte Möglichkeit der Anordnung bei beengten räumlichen Gegebenheiten

Konzept

Vor diesem Hintergrund bietet der zu entwickelnde Wendelfischpass eine neue Lösung für den Fischauf- und -abstieg auf engstem Raum. Die raum- und platzsparende Konstruktion erlaubt es, auch relativ große Höhendifferenzen auf begrenztem Raum zu überwinden. Dies ist vorteilhaft in geografischen Umgebungsengpässen (enge, verbaute Täler oder gar Schluchten), wie auch im urbanen Umfeld, wo sensible Raumordnungen wenig angetastet werden sollen. Da die Strömungsbedingungen durch eine spiralförmige Linienführung nahezu konstant gehalten werden kann, werden keine Gefälleknicke oder Umlenkbecken als Sonderbauweise benötigt. Durch seine skalierbaren Spiralförmigkeit kann der Wendelfischpass künftig auf alle Fischarten, -größen und -bedürfnisse sowie an zahllosen standortspezifischen Gegebenheiten angepasst werden.

Gängige Lösungen für Fischaufstiegsanlagen sind langgestreckte Massivbetonkonstruktionen, die vor Ort eingeschalt, bewehrt und mit Beton verfüllt werden müssen. Dementsprechend hoch sind auch ihre Kosten und der Zeitrahmen für die Errichtung. Durch die Verwendung modularer und standardisierter Formteile sind standortspezifische Planungen lediglich für die Fundamentierung und die Anschlüsse der Ein- und Ausstiege sowie der Zugänglichkeit notwendig. Durch den modularen und skalierbaren Aufbau sind unterschiedlich variable Höhen/Tiefen und Breitenmaße ökonomisch umsetzbar.

Separate modulare Formteile sollen die hydraulische Verbindung des Wendelfischpasses mit den Ober- und Unterwasserbereichen des Wanderhindernisses gewährleisten. Diese sogenannten Anbindungssegmente sollen derart gestaltet werden, dass eine Durchflussdotierung gewährleistet wird, um Wasserstandschwankungen im Ober- und Unterwasser kompensieren zu können, innerhalb des Wendelfischpasses konstante Strömungsbedingungen zu gewährleisten und im Revisionsfall die Gesamtanlage wasserfrei zu halten. Erfolgt durch die modulare Bauweise die unterwasserseitige als auch die oberwasserseitige Anbindung fischökologisch günstig zum Wanderhindernis, bietet sich der Wendelfischpass nicht nur als Aufstiegsanlage, sondern auch als Abstiegskorridor an.

Mit frei adaptierbaren strömungsmindernden und –regulierenden Trennsegmenten kann die Strömung entlang des Wendelfischpasses individuell angepasst werden, um einen fischartenkonformen Wanderkorridor gemäß den gegenwärtigen fischökologischen Vorgaben zu gestalten. Um eine Passierbarkeit für Makrozoobenthos zu ermöglichen, soll der Wendelfischpass über ein entsprechend standfestes, jedoch dem hyporheischen Interstitial nachempfundenen leicht durchströmbares Sohlsubstrat verfügen.

Die tragenden Bauteile als auch das Gerinne sollen durch die Verwendung von Carbonbeton wesentlich filigraner und leichter als herkömmlicher Stahlbeton gestaltet werden. Armierungsstahl muss zum Schutz vor Korrosion mit 60 mm Beton überdeckt werden; die Carbonarmierung lediglich mit 10 mm. Durch den Einsatz von Carbonbeton kann die Zementmenge um 70 % und das Gesamtgewicht um bis zu 80 % reduziert werden. Mit der Gewichtseinsparung beim Carbonbeton verringern sich auch die Treibhausgasemissionen gegenüber herkömmlichem Stahlbeton um die Hälfte.

Für die Wartung, Reinigung oder Funktionskontrolle soll der gesamte Wendelfischpass über eine Wartungsplattform im Innenraum zugänglich gemacht werden. Auch lassen sich mit Hilfe dieser Zuwegung Vorrichtungen und Instrumente zur Überwachung und zum Monitoring der Anlage installieren.

Methodik

Zur Umsetzung des Konzepts werden wasserbauliche Untersuchungen an einem Prototyp im Realmaßstab unter Labor- und simulierten instationären Freilandbedingungen durchgeführt. Flankiert werden die Untersuchungen durch räumlich hochaufgelöste hydrodynamisch-numerische Strömungssimulationen sowie durch ethohydraulische Beobachtungsversuche (Abbildung 51). Um den Wendelfischpass künftig als eine Lösung für Fischauf- und -abstiegsanlagen zu etablieren, sollen das System und seine Merkmale im Zuge der ab 2022 angedachten Überarbeitung des DWA-Regelwerkes Merkblatt 509 aus dem Jahr 2014 in Abstimmung mit der Fachgruppe mitberücksichtigt werden.

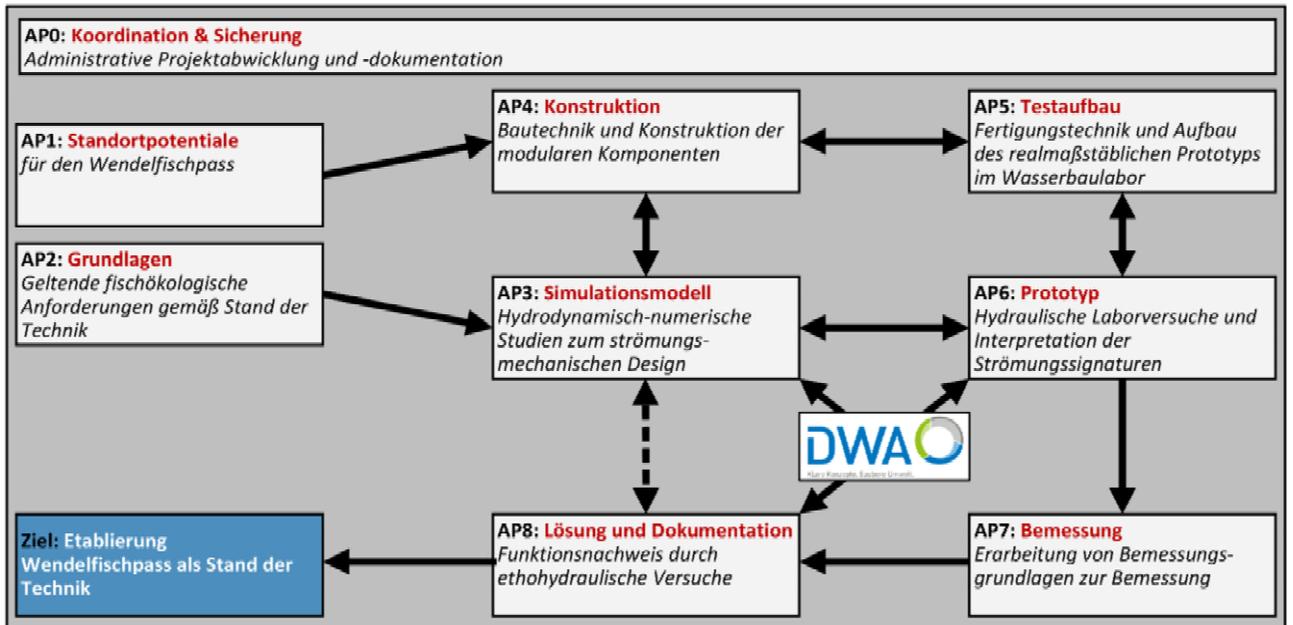


Abbildung 51: Projektstruktur „modularer Wendelfischpass“

Realmaßstäblicher Prototyp und Ausblick

Der Wendelfischpass wird für Wanderhindernisse mit einer Gewässerbreite von 4 bis 50 m und einer Fallhöhe zwischen 1,5 und 8 m entwickelt. Aus ersten Vorplanungen resultiert für den realmaßstäblichen Prototyp eine Formgebung, die an Gewässerprofilen in Flusskrümmungen angelehnt ist. Entgegen des sich natürlich ausbildenden Gewässerprofils wurde zur Modifizierung der Strömung eine inverse Profilform gewählt. Der geplante realmaßstäbliche Aufbau im wasserbaulichen Forschungslabor limitiert den maximal möglichen Außendurchmesser auf 10 m und die Anzahl der Wendelungen auf zwei. Weshalb zur Dimensionierung der Profilform die Plötze als geometrisch kleinster repräsentativer Bemessungsfisch verwendet wurde (Abbildung 52). Mit der Inbetriebnahme des realmaßstäblichen Aufbaus werden im anstehenden Arbeitspaket zunächst die hydraulischen Signaturen erhoben und die gegenwärtigen fischökologischen Vorgaben an den Wanderkorridor geprüft. Mit den physikalischen Messungen wird das dreidimensionale hydrodynamisch-numerische Modell zur besseren Abbildung der Gesamtanlage nachkalibriert. Im Anschluss werden gemeinsam mit Fischbiologen ethohydraulische Versuche durchgeführt und das Wander- und Bewegungsverhalten der Tiere während der Passage des Wendelfischpasses dokumentiert.

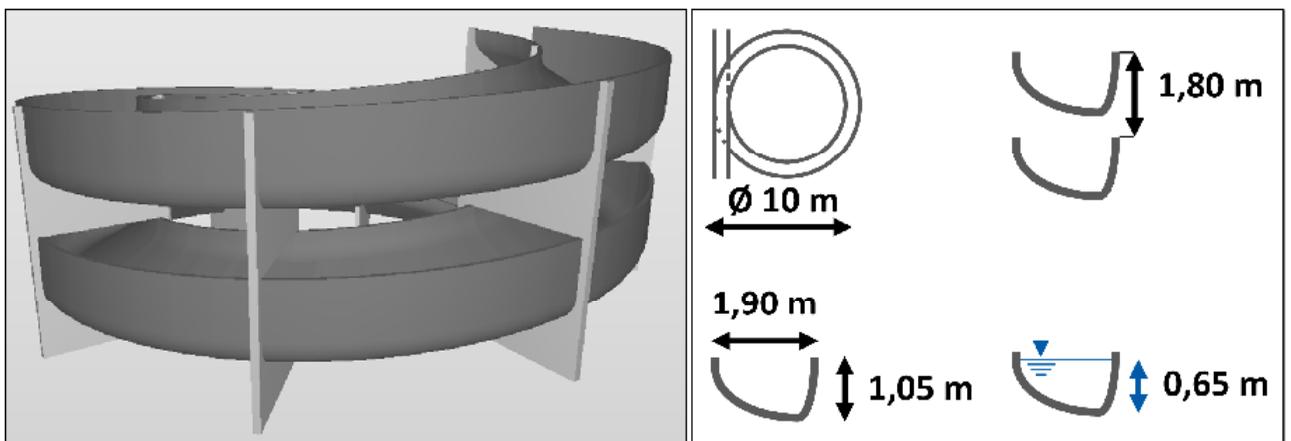


Abbildung 52: Dreidimensionaler Entwurf und Abmessung des realmaßstäblichen Prototyps

Aus den Fachgebieten:

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (Leitung: Prof. Schmalz)



Lehre

Abschlussarbeiten

Auch im vergangenen Jahr wurden zahlreiche Studierende im Rahmen ihrer Bachelor- oder Masterarbeiten von den Mitarbeitenden des Fachgebiets ihwb betreut. Im Folgenden werden die im Zeitraum November 2020 bis Oktober 2021 abgeschlossenen Arbeitsthemen aufgelistet.

Bachelorarbeiten

- Darstellung und Auswertung der Abflusshysterese aus Zeitreihen gemessener Abflüsse und Wassergüteparameter
- Prüfung und Analyse der Wetterstationsdaten Herrensee im Mittelgebirgseinzugsgebiet Gersprenz
- Maßnahmen zum urbanen Wasserressourcenmanagement als Beitrag zur Anpassung an die Folgen des Klimawandels (in Kooperation mit: Infrastruktur & Umwelt Professor Böhm und Partner, Darmstadt)
- Literaturstudie und Anwendung vereinfachter Berechnungsansätze des eventbasierten Zwischenabflusses in Mittelgebirgen

Masterarbeiten

- Analyse des Niedrigwasserverhaltens der Mümling in Hessen
- Einfluss unterschiedlicher Niederschlagsdaten auf hydrologische Modellergebnisse am Beispiel des Gersprenz-Einzugsgebietes in Hessen
- Analyse der Bodenerosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen und ihres Anschlussgrades an Fließgewässer unter Verwendung von frei verfügbaren Daten

Wir bedanken uns bei den Kooperationspartnern für die interessanten Themen und die gute Zusammenarbeit.

Das Fachgebiet ihwb hat sich im Sommersemester 2021 mit einem Modul im neuen Masterstudien-gang "Water Technology, Water Reuse and Water Management" (WaterTech) an der Vietnamese-German University (VGU; s. S. 28) beteiligt. Das derzeit als Flying-Faculty angelegte Modell, bei dem die Lehrenden nach Vietnam fliegen, musste pandemiebedingt allerdings digital von Darmstadt aus durchgeführt werden.

Für die Studierenden im dritten Semester wurde das Modul "River Basin Management" angeboten. Dies umfasste eine zweiwöchige Blockveranstaltung aus Vorlesungen und Übungen, einer Studienleistung sowie einer Klausur. Frau Prof. Schmalz wurde tatkräftig von Paula F. Grosser, M.Sc., unter-stützt. Thematisch wurden u.a. folgende Themenbereiche gelehrt:

- Wasserkreislauf in natürlichen Ökosystemen; Wasserverfügbarkeit
- Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse
- Bodenerosion und Sedimenttransport
- Integrierte hydrologische Modellierung
- Ökohydrologie und Ökosystemleistungen
- Grundsätze des integrierten Wasserressourcen- und Flussgebietsmanagements
- Landnutzungs- und Klimawandel sowie ökosystembasierte Anpassung

Promotionen

Vom Fachgebiet ihwb sind Promotionsvorhaben von Amrei David, Paula Farina Grosser, Mahshid Khazaeiathar, Michael Kissel, Lidia Nersissian, Manuel Perschke, Angela Rebscher und Dominik Scholand in Bearbeitung. Einige Inhalte sowie weitere Details dazu werden auf den Seiten 63-74 vor-gestellt.

Frau Prof. Schmalz war darüber hinaus auch in Promotionsverfahren der Universität Salerno tätig. Sie hat im Jahr 2021 die Prüfungskommissionen des Doktorandenpro-gramms "*Risk and Sustainability in Civil, Architectural and Environmental Engineering Systems*" unterstützt.



Neben zwei Tätigkeiten als Mitglied der Prüfungskommissionen (26.02.2021 und 16.06.2021) war sie am 20.07.2021 Vorsitzende der Prüfungskommission bei der Disputation von Roberta D'Ambrosio, die ihre Arbeit zum Thema "*How Sustainable Drainage Systems may improve city resilience: Experimental insights, urban design modeling and performance assessment at the catchment scale*" präsentiert hat. Die Betreuung des Promotionsvorhabens erfolgte durch Frau Prof. Antonia Longobardi vom Fachbereich Bauingenieurwesen der Universität Salerno. Frau D'Ambrosio war im Rahmen ihrer Promotion zudem von Juni bis Oktober 2019 als Gast am ihwb.

Ziel dieser Dissertation war es, das Potenzial von "*Sustainable Drainage Systems*" (SuDS) für die Min-derung des Hochwasserrisikos in städtischen Gebieten zu untersuchen. Die Forschungsaktivitäten um-fassten insbesondere einen experimentellen Teil, der sich auf Gründächer konzentrierte, sowie Mo-dellierungsstudien, die darauf abzielten, die Vorteile von SuDS bei der Regenwasserbewirtschaftung auf Einzugsgebietsskala zu bewerten.

Forschung

Hydrologisches Feldlabor des ihwb

Rückblick

Seit dem Jahr 2016 nutzt das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) das Gersprenz-Einzugsgebiet (485 km², hessischer Teil) mit dem Teileinzugsgebiet des Fischbaches (35,6 km²) als hydrologisches Untersuchungsgebiet, als sogenanntes Feldlabor (vergleiche Wasserjahre 2016 bis 2020). Hydrologische Feldlabore werden mit der Intention betrieben, das hydrologische Prozessverständnis zu erweitern, hydrologische Modelle zu testen, anzuwenden und zu entwickeln sowie die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungswandel, Landmanagement und Wasserbewirtschaftung auf die Hydrologie abzubilden. Das ihwb arbeitet dazu mit Einrichtungen der Umweltverwaltung sowie einzelnen Akteur*innen und Anwohner*innen vor Ort zusammen.

Messkonzept

In dem seit dem Jahr 2016 bestehenden ihwb-Messkonzept im ausgewählten Studiengebiet erhebt das ihwb Messdaten, welche die bereits vorhandenen Landesdaten und Literaturwerte ergänzen. Fest installierte Sensoren an den Pegeln Groß-Bieberau 2, Wersau und Harreshausen (Abbildung 53) dienen der kontinuierlichen Erfassung von Wasserstand, Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit in 5-Minuten-Auflösung sowie z.T. auch vom pH-Wert, gesättigter Sauerstoffkonzentration und Trübung.

Darüber hinaus wird dieses kontinuierliche Monitoring durch wöchentliche Messungen im Fischbach-Einzugsgebiet ergänzt, um eine höhere räumliche Auflösung zu erzielen. Diese wöchentlich stattfindenden Kampagnen umfassen die Messung von Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Trübung an 13 ausgewählten Messstellen (Abbildung 53).

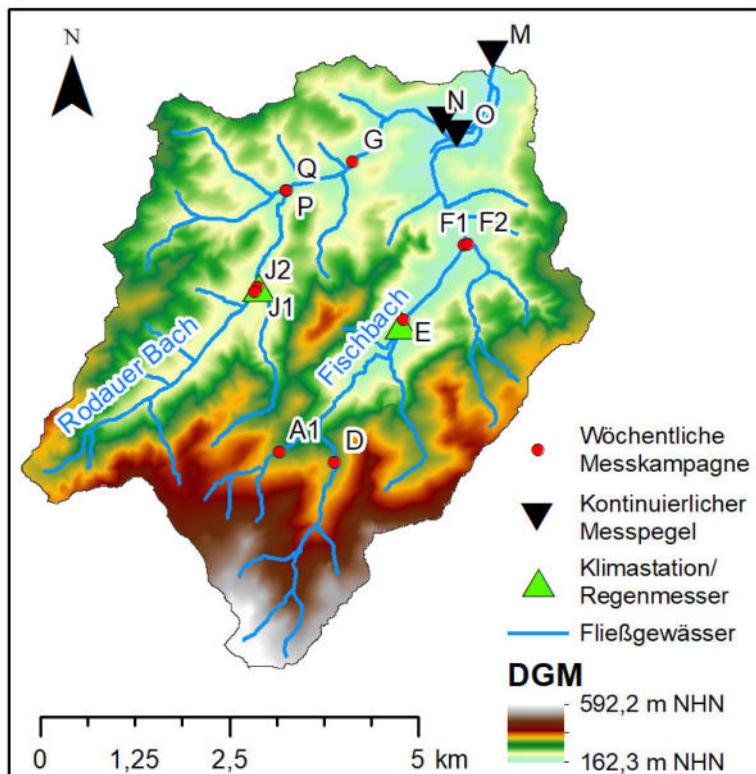


Abbildung 53: Hydro-meteorologische Messdatenerfassung im Fischbach-Einzugsgebiet durch das ihwb (DGM: HVBG)



Abbildung 54: Biberspuren nahe Standort Q (Foto: Romano 10.12.2021)

Die Messergebnisse an den Standorten P und Q (Abbildung 53) können aber seit Juli 2021 nicht mehr in gewohnter Art genutzt und ausgewertet werden, da die Bautätigkeiten von Bibern (Abbildung 54) lokal den Wasserstand deutlich erhöht haben. Der Aufstau führt zu veränderten Abfluss- und Sedimentbedingungen. Die langjährigen Messzeitreihen im Bereich von Johannisbach und Asbach können daher derzeit nicht für die Auswertung der Abfluss- und Stoffdynamik verwendet werden.

Die im April 2020 vom ihwb aufgestellte Wetterstation im Fischbach-Einzugsgebiet, am Standort Herensee, erfasst weiter kontinuierlich in 5-Minuten Auflösung Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag und Sonnenstrahlung. Weitere Niederschlagsdaten werden durch einen Regenschirm am Hottenbacher Hof ergänzt, der seit 03/2021 kontinuierlich Daten liefert. Wir bedanken uns ganz herzlich bei Familie Simmermacher, die uns freundlicherweise eine kleine Fläche zur Errichtung dieses Regenschirms zur Verfügung gestellt hat.



Ein neuer Schwerpunkt ist die Konzeption und Durchführung von Mess- und Probenahmekampagnen bei Richen / Groß-Umstadt mit dem Ziel, Nährstoff-Austräge aus landwirtschaftlichen Flächen über Dränagen in Oberflächengewässer zu untersuchen. In Absprache und gegenseitiger Beratung mit dem HLNUG, der AGGL Otzberg und den Stadtwerken Groß-Umstadt wurden insgesamt fünf Kampagnen zwischen März und Juni 2021 durchgeführt. Diese umfassten jeweils 13 Mess- und Probenahmeplätze, davon 8 Dränagerohre und 5 Gräben und Oberflächengewässer (Abbildung 55 und Abbildung 56). Dabei wurden vor Ort Wasserstand, Wassertiefe, Gewässerbreite, Messquerschnitt, Fließgeschwindigkeit, ggf. Durchfluss, sowie Temperatur, Sauerstoff, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Trübung erfasst. Zudem wurden Wasserproben entnommen und im Labor der Stadtwerke Groß-Umstadt auf Nitrat, Ammonium, Ortho-Phosphat und Phosphor analysiert. Die Analysewerte zeigen z.T. deutlich erhöhte Stoffkonzentrationen aus einigen der Dränagerohre. Aufgrund des geringen Umfangs von nur fünf Messkampagnen ist die Aussagekraft noch sehr eingeschränkt. Die Kampagnen werden daher weiter fortgesetzt. Langfristig regelmäßige und zeitlich höher aufgelöste Messungen könnten auch saisonale Effekte noch besser berücksichtigen. Im Rahmen eines Kooperationsvertrags mit dem HLNUG ist in den nächsten drei Jahren eine Zusammenarbeit geplant, in der die Nährstoffeinträge aus landwirtschaftlichen Drainagen quantifiziert und bewertet werden sollen. Dazu werden die Mess- und Probenahmekampagnen auf wöchentlicher Basis fortgeführt, Nährstofffrachten berechnet sowie Modellergebnisse validiert.



Abbildung 55: Dränagerohr (Foto: Romano 17.05.2021)



Abbildung 56: Graben und landwirtschaftliche Flächen (Foto: Romano 01.03.2021)

Nutzung des Feldlabors für Promotions- und Abschlussarbeiten

Weitere Daten im Untersuchungsgebiet wurden vor allem im Rahmen von Promotionsvorhaben sowie von Bachelor- und Masterarbeiten der Bau- und Umweltingenieurstudiengänge erhoben, analysiert und modelliert.

Die aktuellen thematischen Schwerpunkte der Promotionen lagen dabei auf:

- Abflussbildung (Lidia Nersissian, vergleiche Seiten 63-64)
- Analyse des Modellverhaltens eines hydrologisch-hydrodynamischen Niederschlags-Abflussmodells (Amrei David, vergleiche Seiten 65-67)
- Abschätzung des Basisabflusses für die hydrologische Modellierung (Michael Kissel)
- Auswirkungen des Klimawandels mit Fokus auf Trockenheit (Paula Farina Grosser, vergleiche Seiten 68-69)
- Analyse von Bodenerosionsprozessen und Parametrisierung hydrologischer und hydraulischer Einflussgrößen in der Erosionsmodellierung (Angela Rebscher)
- Abschätzung des Erosionsgeschehens innerhalb von Einzugsgebieten (Dominik Scholand, vergleiche Seiten 70-71).

Zwei Bachelor- und drei Masterarbeiten trugen durch ihre Auswertungen mit Bezug zum Gersprenz-/Fischbach-Einzugsgebiet zu weiterem Erkenntnisgewinn bei und wurden im Zeitraum 11/2020-10/2021 abgeschlossen. Einer der Schwerpunkte lag dabei auf den Niederschlagsdaten. In einer Bachelorthesis wurden die Daten der ihwb-Wetterstation am Herrensee im Fischbach-Einzugsgebiet aufbereitet, geprüft und mit anderen umliegenden Stationen verglichen (Maier 2021). In einer weiteren Abschlussarbeit wurde der Einfluss unterschiedlicher Niederschlagsdaten auf hydrologische Modellergebnisse untersucht (vom Ende, Masterthesis 2020; Seiten 16-17). Ein Vergleich des Einflusses von Niederschlagsdaten sowohl von Messstationen als auch von Radaraufnahmen auf die Ergebnisse der hydrologischen Modellierung zeigte, dass Radarmessungen im Rahmen von Ereignissimulationen zu vergleichbaren bzw. teilweise besseren Ergebnissen, v.a. in Bezug auf die räumliche Variabilität, führten. Für Langzeitsimulationen fielen die Unterschiede deutlich geringer aus, zudem war ein unverhältnismäßig hoher prozesstechnischer Aufwand für die Aufbereitung der Eingangsdaten notwendig.

In einer anderen Masterthesis wurde das Niedrigwasserverhalten der Mümling und der Gersprenz analysiert (Kieser 2020; Seiten 10-11). Die Ergebnisse zeigten, dass die Niedrigwasserentstehung maßgeblich durch die Speichereigenschaften der Einzugsgebiete geprägt wird. Der Waldflächenanteil beeinflusst zudem die Höhe des Oberflächenabflusses.

Bei gleichem Wasserstand können unterschiedliche Abflüsse oder Stoffkonzentrationen auftreten, da diese meist zeitversetzt sind. Diese Abflusshysterese wird graphisch schleifenförmig dargestellt. In einer Bachelorarbeit (Schaljo 2021) wurden Wassergüteparameter (Trübung, Sauerstoff, pH-Wert, Wassertemperatur, elektrische Leitfähigkeit) von ausgewählten Ereignissen visuell und mathematisch ausgewertet. Diese Hysterese-Schleifen wurden klassifiziert und die Beziehung zwischen den Parametern analysiert. Es wurde zudem diskutiert, dass für die korrekte Auswertung von Hysterese-Schleifen die richtige Darstellungsmethode von großer Bedeutung ist.

In einer weiteren Masterthesis wurde die Bodenerosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Nutzflächen analysiert und zudem der Anschlussgrad ans Fließgewässer mitberücksichtigt (Gormsen 2021; Seiten 8-9). Dazu wurden sowohl frei verfügbare als auch lizenzierte Daten verwendet und die Ergebnisse verglichen.

Hilfreich zur Vermittlung von Geräte- und Geländekenntnissen sowie hydrologischen Ingenieurinhalten im Rahmen von Promotions- und Abschlussarbeiten ist die Entwicklung der Virtual Reality Plattform VR4Hydro für das hydrologische Feldlabor. Details dazu auf Seite 62.

Publikation und Präsentation der Forschungsergebnisse

Im Jahr 2021 sind zudem drei Publikationen in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht worden. Zum einen wurde eine systematische Analyse des Modellverhaltens eines 2D-Modells unter besonderer Berücksichtigung der räumlichen Auflösung durchgeführt. Der *Rain-on-Grid*-Ansatz, bei dem der Eingangsniederschlag auf das gesamte Einzugsgebiet angewendet wird, wurde in einem kleinen Teileinzugsgebiet des Fischbachs (Messbach-Einzugsgebiet, 2,13 km²) angewendet. Geeignete Modelleinstellungen und Empfehlungen zur Modelldiskretisierung und -parametrisierung wurden daraus abgeleitet. Ein Schwerpunkt lag dabei auf dem Einfluss der Zellauflösung im Zusammenspiel mit der räumlichen Auflösung des zugrundeliegenden Geländemodells.

- David, A. & Schmalz, B. (2021): A Systematic Analysis of the Interaction between Rain-on-Grid-Simulations and Spatial Resolution in 2D Hydrodynamic Modeling. *Water* 13(17), 2346. DOI: 10.3390/w13172346.

Zum anderen wurden in einer weiteren Studie Niedrigwasser und Dürre in einem integrativen Einzugsgebietsansatz untersucht, indem die historische Entwicklung von Dürre und Niedrigwasser im Gersprenz-Einzugsgebiet für den Zeitraum von 1980 bis 2018 untersucht wurde. Es wurde eine Trendanalyse von Dürre- und Niedrigwasserindizes durchgeführt, und die Ergebnisse wurden im Hinblick auf die Einzugsgebietscharakteristika analysiert. So konnten eher kurzfristige von langfristigen Niedrigwasserereignissen unterschieden werden. Diese Studie unterstreicht die Bedeutung kleinräumiger Effekte beim Umgang mit Niedrigwasserereignissen.

- Grosser, P.F. & Schmalz, B. (2021): Low Flow and Drought in a German Low Mountain Range Basin. *Water* 13(3): 316, DOI: 10.3390/w13030316.

Außerdem wurde in einer weiteren Studie eine neue Methode zur automatischen Ableitung der Hauptanbaurichtung aus Saatreihen und Fahrgassen auf landwirtschaftlichen Parzellen entwickelt. Dies erfolgt mit Hilfe des *Fast Line Detectors* (FLD) des *Open Computer Vision* (OpenCV) Pakets und offenen Fernerkundungsdaten von Google Earth™. Der Vergleich der so ermittelten Anbaurichtung mit der mittleren Exposition für jede Parzelle ermöglicht die Planung von Bodenschutzmaßnahmen wie z.B. landwirtschaftliche Querbewirtschaftung.

- Scholand, D. & Schmalz, B. (2021): Deriving the Main Cultivation Direction from Open Remote Sensing Data to Determine the Support Practice Measure Contouring. *Land* 10(11): 1279. DOI: 10.3390/land10111279.

Weitere Ergebnisse der Forschungsaktivitäten des ihwb-Teams wurden auf wissenschaftlichen Veranstaltungen vorgestellt. Auf dem Tag der Hydrologie, der vom 30.08. bis 01.09.2021 in Potsdam stattfand, wurden zwei Poster in Bezug auf Klimawandelprognosen auf der Grundlage hochauflösender Ensembles für zwei Emissionsszenarien sowie Bodenabtrag durch Ableitung der Hauptbearbeitungsrichtung auf Ackerflächen präsentiert. In einem Vortrag beim 17th PhD Workshop on Hydrological Modeling (AG HydMod) vom 04. bis 06.10.2021 in Kassel wurden Ergebnisse zu Dürre und Niedrigwasser vorgestellt.

Danksagung

Durch gute Zusammenarbeit, konstruktive Diskussionen und die zur Verfügung gestellten Daten werden unsere Forschungsaktivitäten sehr unterstützt. Dafür danken wir allen Beteiligten, insbesondere den Mitarbeiter*innen vom HLNUG, RP Darmstadt, Wasserverband Gersprenzgebiet und der Stadt Groß-Bieberau. Unser Dank gilt auch allen Anwohner*innen und Eigentümer*innen für die Möglichkeit, auf ihren Grundstücken Untersuchungen durchführen zu können.

VR4Hydro

Paula F. Grosser, Britta Schmalz

Projektförderer: unterstützt durch Dezentrale Mittel zur Qualitätssicherung in der Lehre des Fachbereichs Bau- und Umweltingenieurwissenschaften der TU Darmstadt



Projektpartner: Institut für Numerische Methoden und Informatik im Bauwesen, TU Da



VR4Hydro - Virtuelle Realität zur Vermittlung hydrologischer Ingenieurinhalte

VR4Hydro ist eine Virtual Reality (VR) Plattform zur Erstellung digitaler Lehrmittel zur Vermittlung von Geräte- und Geländekenntnissen in Zeiten der COVID-19-Pandemie, aber auch zur digitalen Anreicherung der künftigen Präsenzlehre. Die Plattform basiert auf Open-Source-Frameworks und dient unter anderem zur interaktiven Darstellung von 3D-Panoramen. Sie läuft als Webapplikation mittels HTML5 direkt im Browser auf praktisch jedem Rechner und fast allen Smartphones und Tablets (iOS, Android). Durch den Einsatz von Brillen oder kostengünstigen Cardboards kann das Tool im VR-Modus verwendet werden.

VR4Hydro dient der virtuellen Erforschung und Entdeckung des ihwb-Feldlabors. Alle Informationen der im Gersprenz Einzugsgebiet installierten oder eingesetzten Sensoren und Messgeräte wurden zusammengestellt und als Inhalte im VR4Hydro-Modell mit Fotos und Videos sowie GIS-Daten kombiniert. Mit Drohnenbefliegungen wurden an ausgewählten Stellen zusätzlich Luftaufnahmen erstellt, so dass die Studierenden einen umfassenden fachlichen Einblick bekommen. Den Studierenden werden Eindrücke über die Gebietscharakteristika des Einzugsgebietes, wie z.B. Einzugsgebietsgröße, Topographie, Landnutzung, Fließgewässerverlauf, Abfluss, usw. vermittelt. Das VR4Hydro-Modell verbessert so den Zugang zu Informationen im Rahmen von Lehrveranstaltungen oder Abschlussarbeiten am Fachgebiet ihwb.

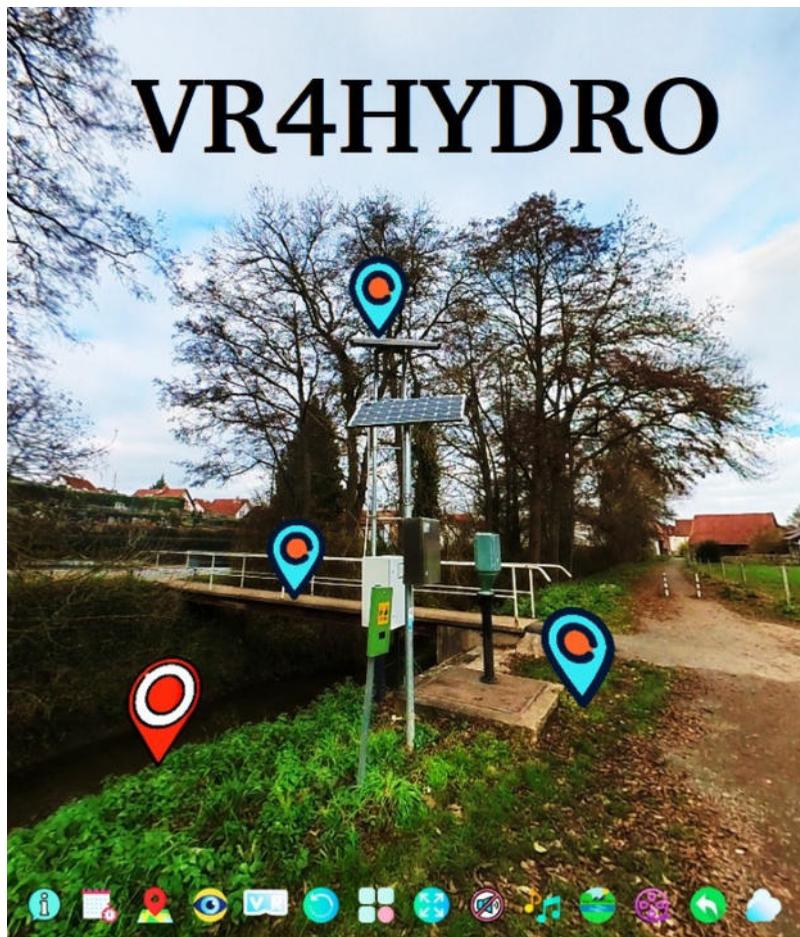


Abbildung 57: Nutzeroberfläche VR4Hydro (© ihwb und IIB 2021)

Einfluss von Kennzahlen auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags und der Infiltrationshöhe im Fischbach-Einzugsgebiet nach dem SCS-Verfahren

Lidia Nersissian, M.Sc.

Die Betrachtung der Abflussbildung nimmt in der Hydrologie einen immer größeren Stellenwert ein, da viele Fragestellungen, z.B. Prognosen für den Hochwasserschutz, von Abflussbildungsprozessen abhängig sind.

International hat sich das Curve-Number-Verfahren etabliert. Dieses empirische Verfahren zur Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags N_{eff} sowie der Infiltrationsrate $F(t)$ erlaubt es, trotz der starken Vereinfachung, eine Vielzahl von Einflüssen zu berücksichtigen. Bei diesem Verfahren wird jedoch eine Reihe an Eingangsparametern benötigt. Zur Bestimmung von N_{eff} und $F(t)$ wurde anstelle des klassischen Curve-Number-Verfahrens die im DVWK (2003) [1] gegebene Empfehlung einer modifizierten Form nach Kleeberg & Overland (1989) [2] angewandt. Im Gegensatz zum klassischen Verfahren werden hier die Anfangsverluste angepasst sowie die Hangneigung und die Spannweite der Vorfeuchte miteinbezogen.

Datengrundlage

Zur Ermittlung der Abflussbildung sind Niederschlags-, Höhen-, Boden- und Landnutzungsdaten erforderlich. Die Niederschlagsdaten stammen aus einer stationsbasierten Messung des Deutschen Wetterdienstes (DWD) und liegen in einer Auflösung von 10-Minuten vor. Sie wurden neben der Bestimmung der Niederschlagshöhe zum Zeitpunkt des gewählten Regenereignisses, u.a. zur Berechnung von zwei Vorregenindizes, verwendet:

- 1) Der aktuelle Vorregenindex V_{akt} , als Ausdruck der Vorfeuchte zum Zeitpunkt des Ereignisses, der über die Niederschlagshöhe der letzten 30 Tage bestimmt wird,
- 2) Der mittlere Vorregenindex V_{Mit} , als Mittelwert des langjährigen Vorregenindex V_{akt} .

Die Höhendaten wurden zur Berechnung der Hangneigung einbezogen. Aussagen zu hydrologischen Bodenklassen und der Landnutzung wurden aus den Bodenflächendaten (BFD50) vom HLNUG gewonnen.

Bei einem ersten Ansatz wurden für ein ausgewähltes Starkregenereignis N_{eff} sowie $F(t)$ für sieben Fischbach-Teileinzugsgebiete (TEZG) bestimmt. Bei einem zweiten Ansatz wurde das EZG detaillierter betrachtet. Die Berechnung von N_{eff} und $F(t)$ erfolgte für 52 BN_IDs. Jede BN_ID steht für eine bestimmte Bodenart und eine Landnutzung und hat eine gemittelte Geländeneigung. Die Landnutzung ist grob in drei Komponenten - Wald, Wiese, Ackerfläche - aufgeteilt. Abhängig von der Art der Landnutzung und den hydrologischen Bodenklassen konnte jeder BN_ID eine Curve-Number (CN) nach DVWK (2003) zugeordnet werden.

Ergebnisse

In Abbildung 58 sind die Ergebnisse des Starkregenereignisses vom 11.05.2020 für sieben TEZG dargestellt und in Tabelle 2 zusammengefasst. Der Niederschlag im Berechnungszeitraum von 10 Stunden lag bei 29,9 mm. Die TEZG haben eine mittlere Geländeneigung von 14,5 % bis 22,5 %. Die berechneten CNs schwanken zwischen 62 und 68. Der Flächenanteil je TEZG am EZG beträgt zwischen 8% und 20%. Der Vorregenindex V_{akt} lag bei 29,1 mm.

Der abflusswirksame Niederschlag N_{eff} ist bei dem TEZG 7 mit 6,17 mm am niedrigsten und bei dem TEZG 3 mit 9,16 mm am höchsten. Analog verhalten sind die Ergebnisse der Infiltrationsrate $F(t)$. Trotz der Heterogenität der TEZG weisen die Ergebnisse aufgrund der relativ ähnlichen durchschnittlichen CN-Werte und Geländeneigungen keine große Variabilität auf.

Tabelle 2: Übersicht der Ergebnisse im Fallbeispiel der Fischbach-TEZG

Ergebnisse:	TEZG1	TEZG2	TEZG3	TEZG4	TEZG5	TEZG6	TEZG7
CN-Werte	67,2	65,3	67,7	65,2	64,3	65,1	61,9
mittl. Geländeneigung [%]	14,5	16	17,5	18,2	18,5	22,5	20,2
F(t) [mm]	21,03	22,08	20,74	22,13	22,60	22,18	23,73
N _{eff} [mm]	8,87	7,82	9,16	7,77	7,30	7,72	6,17

Bei detaillierter Berücksichtigung von Landnutzung und Boden für jede BN_ID zeigen sich jedoch größere Unterschiede wie in der räumlichen Darstellung in Abbildung 59 erkennbar ist. Der abflusswirksame Niederschlag N_{eff} hat bei diesem Ereignis eine Spannweite von 6,0 mm bis 17,5 mm und die Infiltrationsrate von 8,7 mm bis 20,3 mm. Sowohl die CN-Werte als auch die mittlere Geländeneigung schwanken in einem größeren Rahmen als bei den Ergebnissen der TEZG.

Ausblick

Das SCS Verfahren nach Kleeberg & Overland lässt sich gut im Fischbach-EZG umsetzen. Bei dem Vergleich der beiden Ansätze fallen deutliche Unterschiede in den Ergebnissen auf. Um die Zusammenhänge zwischen den Parametern CN-Wert, Hangneigung und Vorregen-Index besser zu verstehen, werden derzeit die hydrologischen Prozesse in diesem Mittelgebirgs-EZG analysiert.

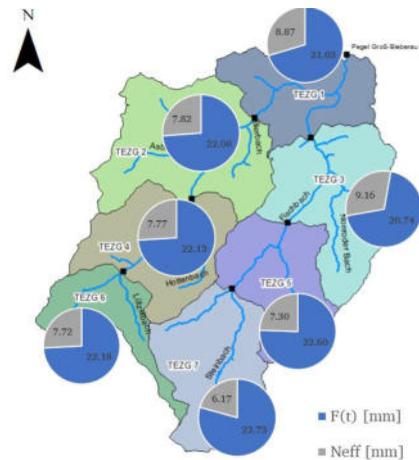


Abbildung 58: Absolute Werte von N_{eff} und F(t) für die Fischbach-TEZG

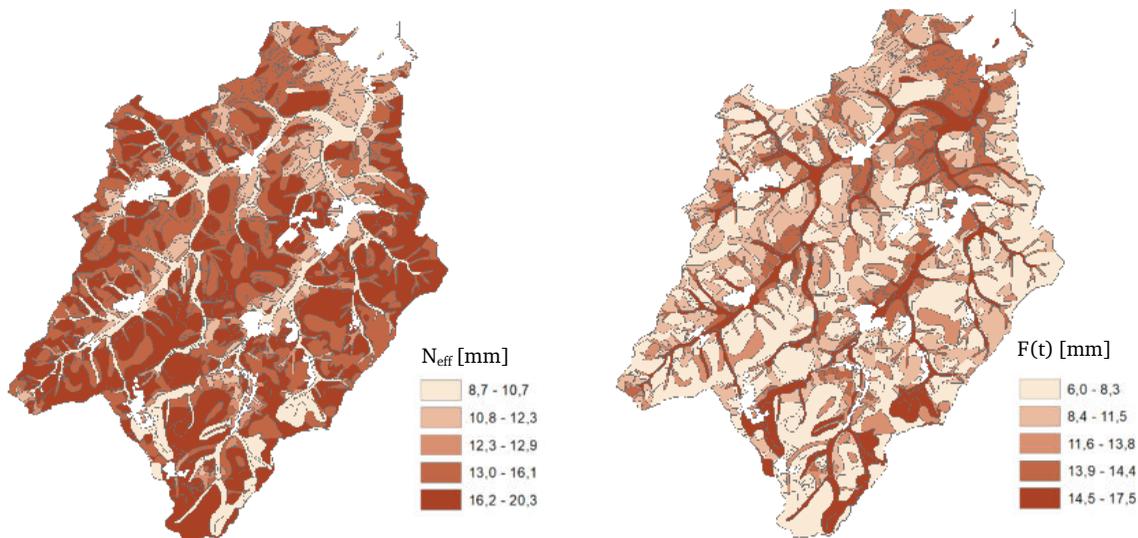


Abbildung 59: links: abflusswirksamer Niederschlag N_{eff}, rechts: Infiltrationsraten F(t)

Literatur

- [1] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DVWK) (2003): Ursache-Wirkungsbeziehungen zu Hochwasserereignissen. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe HW-3.2 „Hochwasser“. Hennef.
- [2] Kleeberg, H.-B. & Overland, H. (1989): Zur Berechnung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags. Institut für Wasserwesen. Mitteilung Heft 32/1990. Universität der Bundeswehr München.
- [3] Hofstetter, L. (2020): Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdaten auf ökohydrologische Modellergebnisse am Beispiel des Fischbach-Einzugsgebietes in Hessen. Masterarbeit TU Darmstadt.

Systematische Analyse des Modellverhaltens des 2D hydrodynamischen Niederschlags-Abflussmodells HEC-RAS mit Fokus auf die räumliche Auflösung

Amrei David, M.Sc.

Die Methode der direkten Berechnung beinhaltet die flächenhafte, hydrodynamische Simulation von Hochwassergefahren innerhalb von urbanen oder ländlichen Einzugsgebieten. Durch das Hinzufügen des Niederschlags als Quellterm zu den meist ursprünglich für die Berechnung von Wasserspiegellagen entwickelten Modelle besteht die Möglichkeit, das Einzugsgebiet flächenhaft zu berechnen und als quasi 2D hydrologisch-hydrodynamisches Modell (engl. *Hydrological Hydrodynamic Rainfall Runoff Model* – ‚HDRRM‘) anzuwenden. In der Literatur ist diese Methode auch als sogenannte *Direct Rainfall Method* oder *rain-on-grid*-Methode bekannt. Mittlerweile existieren Anwendungsbeispiele in ländlichen und urbanen Gebieten unterschiedlicher Größe, Topographie und Landnutzung. Generell stellen sich aufgrund der unterschiedlichen Abflussdynamik der Oberflächenabflüsse (geringe Fließtiefen, hohe Geschwindigkeiten, große Gefälle) andere Probleme im Vergleich zu den besser erforschten Flusslaufuntersuchungen im Zuge des Hochwasserrisikomanagements. Zum einen sind relativ anwendungsnahe Herausforderungen hinsichtlich der Vorgehensweise der generellen, einzugsgebietsbasierten Modellerstellung, der Modellparametrisierung, der Parametersensitivität und Modellkalibrierung vorhanden. Zum anderen zeigen sich modelltechnische Besonderheiten in Bezug auf die im Modell hinterlegten physikalischen Grundgleichungen und die jeweiligen numerischen Lösungsverfahren. Schwerpunkt der Untersuchung ist die Analyse des Modellverhaltens des 2D hydrodynamischen Modells HEC-RAS [1] mit Fokus auf die räumliche Auflösung. Hieraus werden Empfehlungen für eine anwendungsspezifische Modellparametrisierung für die Anwendung der Methode der direkten Berechnung abgeleitet und Modelldefizite aufgedeckt.

Schwerpunkt der Untersuchung ist die systematische Auswertung und Kombination sieben verschiedener Geländemodelle (DGM, [2]) zwischen 0,25 m bis 5 m Auflösung („Subgrid“, [3]) mit sieben verschiedenen Rechengittern mit einer Auflösung zwischen 2 m bis zu 30 m. Die Ergebnisse werden anhand von drei Indizes relativ zu einem hochaufgelösten Benchmark-Rechenlauf (0,25 m DGM und 1 m Rechengitter) sowie drei absoluten Indizes bewertet (Abbildung 60). Diese beinhalten neben der lokalen Auswertung der Abflussganglinie an ausgewählten Orten im Einzugsgebiet weiterhin flächenhafte, zellbasierte Auswertungen der ermittelten Überflutungsflächen; zudem die Volumentreue der Simulationsergebnisse, die Einhaltung der Wasserbilanz und die Rechenzeit.

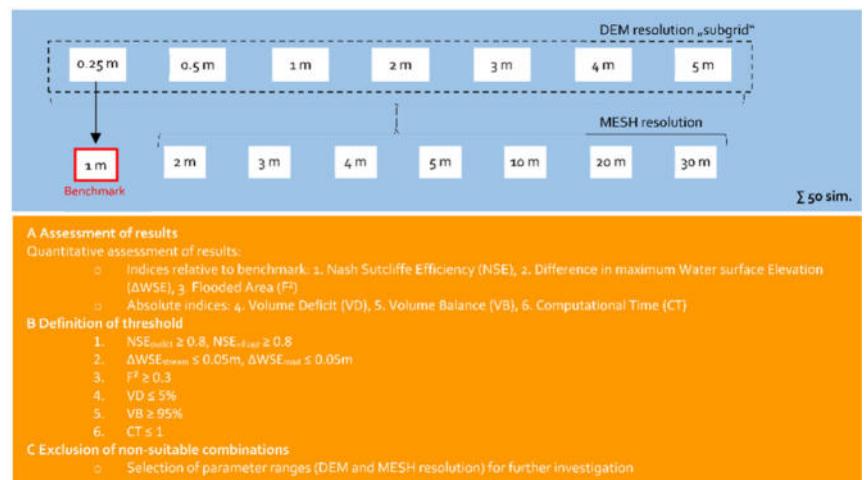


Abbildung 60: Methodisches Vorgehen zur Untersuchung der Modellsensitivität zur räumlichen Auflösung; Abbildung entnommen und abgeändert aus [4]

Als Studiengebiet wird der Messbach, ein kleines Einzugsgebiet mit 2,13 km² Fläche als Teileinzugsgebiet des Fischbaches/Gersprenz, zum Vorderen Odenwald gehörend, ausgewählt (Abbildung 61).

Das Einzugsgebiet besteht vorwiegend aus forstwirtschaftlichen Flächen (ca. 54% Landnutzungsanteil), ackerwirtschaftlichen Flächen (Wiesen und Feldfrüchte, ca. 37%), land- und forstwirtschaftlichen Wegen (ca. 4%). In der Tallage befindet sich eine kleine Ortschaft (ca. 2%). Es ist weiterhin gekennzeichnet durch Gefälle von bis zu 50% der bewaldeten Hangflächen und einem durchschnittlichen Gefälle von 9,4% entlang des längsten Fließweges. Die Abflusskonzentrationszeiten betragen ca. 0,99 h für die schnelle und 2,95 h für die langsame Kaskade [4]. Das Modellgebiet wird jeweils mit dem Effektivniederschlag eines 50-jährlichen Modellregens berechnet.

Ein qualitativer Vergleich der Abflussganglinien für das DGM 0,25 m zeigt, dass durch eine gröbere Zellauflösung eine Retentionswirkung im Einzugsgebiet erzeugt wird (Abbildung 62). Die Ganglinien und Abflussscheitel flachen mit jeder größeren Zellauflösung ab und es tritt eine Verzögerung des Abflusses auf.

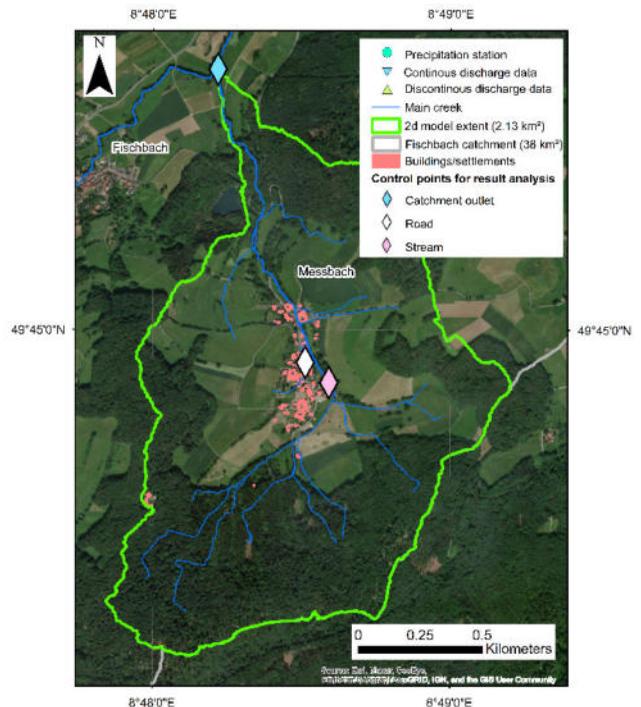


Abbildung 61: Studiengbiet Messbach (2,13 km²)

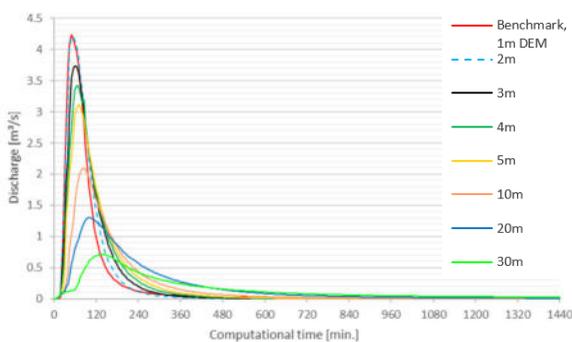


Abbildung 62: Simulierte Abflussganglinien am Auslass des Messbach für berechnete Zellauflösungen und einem DGM mit 0,25 m Auflösung

Für den Index der Nash-Sutcliffe-Efficiency (NSE) für die Simulationsgruppe von 2 m Rechengitter ergibt sich für alle Auflösungen des Geländemodells eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Benchmark-Lauf. Für jede geringere Zellauflösung reduziert sich die Übereinstimmung für alle Geländemodelle um ca. 0,05. Bis zu einem Rechengitter von 5 m lässt sich eine gute Übereinstimmung feststellen. Ab einer Auflösung von 10 m sinkt die Übereinstimmung mit dem fein aufgelösten Rechenlauf deutlich. Eine ähnliche Tendenz ist auch für den Kontrollpunkt im Bachverlauf selber zu erkennen (Abbildung 63). Die maximale Wasserstandsabweichung (ΔWSE , stream) zum Benchmark zeigt bis zu einem Rechengitter von 5 m eine sehr gute Übereinstimmung (< 5 cm) mit dem Benchmark-Lauf.

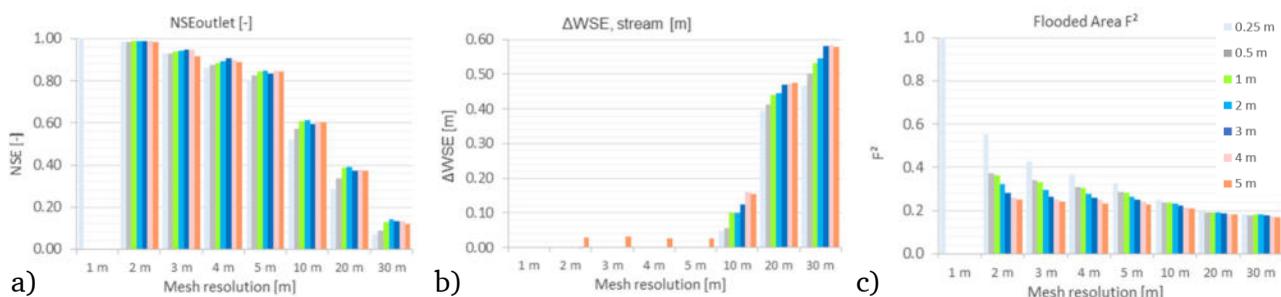


Abbildung 63: Ausgewählte Ergebnisse im Vergleich zu dem hochaufgelösten Benchmark-Lauf: **a)** Nash-Sutcliffe-Efficiency (*NSE*) für die Abflussganglinie am Auslass des Einzugsgebietes, **b)** max. Wasserstandsabweichung im Bachlauf (ΔWSE , *stream*), **c)** pixelbasierter Vergleich der Überflutungsflächen (F^2)

Der flächenhafte Vergleich der ermittelten Überflutungsflächen anhand des pixelbasierten Index F^2 [5] zeigt bereits für Rechengitter von 2 m erhebliche Abweichungen zu den Überflutungsflächen im

Benchmark-Lauf. Ein Wert von $F^2=1$ steht für eine genaue Übereinstimmung der simulierten Überflutungsflächen mit dem Referenzlauf. Die ermittelte Übereinstimmung liegt bei $F^2=0,55$ für ein 2 m Rechengitter, 0,25 m DGM und sinkt innerhalb der Zellauflösung auf $F^2=0,33$ für das DGM mit 5 m Auflösung ab. Ab einer Zellauflösung von 10 m liegt sie durchgehend in einer Größenordnung von kleiner 0,25. Anhand einer qualitativen Auswertung der im Einzugsgebiet ermittelten Überflutungsflächen zeigt sich, dass die grundlegende Übereinstimmung der Ergebnisse vorhanden ist.

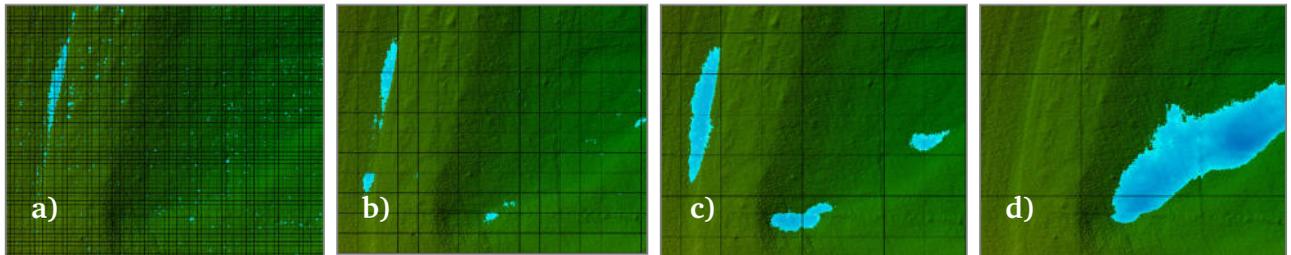


Abbildung 64: Zurückgehaltenes Wasser in Mikrosenken (**a**: 1 m, **b**: 5 m mesh, 0,25 m DGM) sowie künstlich erzeugte Senken im flachen Gelände mit geringen Wassertiefen für Zellauflösungen ab 10 m (**c**: 10 m, **d**: 30 m Rechengitter) nach Ende der Simulationszeit

Die Abweichungen entstehen dadurch, dass im 1 m Benchmark-Lauf eine Vielzahl von Mikrosenken im DGM gefüllt werden und durch das hochaufgelöste Rechengitter abgebildet werden können. Mit jedem größeren Rechengitter reduziert sich die Anzahl der gefüllten Mikrosenken bis zu einer Auflösung von 5 m Rechengitter. Ab einer Zellauflösung von 10 m entstehen durch das grobe Rechengitter in Kombination mit einem fein aufgelösten Geländemodell und sehr geringen Wasserständen künstliche Senken, welche für die geringe Übereinstimmung der Überflutungsflächen verantwortlich sind (Abbildung 64). Diese führen dazu, dass bei Zellauflösungen ab 10 m das Wasser im Einzugsgebiet zurückgehalten wird bzw. erst verzögert abfließen kann. Der Effekt führt zu einer zeitlich verzögerten und stark abgeflachten Abflussganglinie. Diese modell- und vor allem anwendungsspezifische Besonderheit geringer Wassertiefen ist für eine angepasste Modellparametrisierung relevant und sollte bei Praxisanwendungen der direkten Beregnung berücksichtigt werden. [4]

Die Auswertung der Projektstudien, in denen die Methode der direkten Beregnung angewendet wird, zeigt eine große Streuung zwischen gewählter Zellauflösung und Einzugsgebietsgröße (Abbildung 65). Aus der aktuellen Analyse ergibt sich eine Empfehlung für das untersuchte Einzugsgebiet mit Zellauflösungen zwischen 3 bis 5 m. Feinere Zellauflösungen werden aufgrund der Rechenzeiten nicht empfohlen [4]. Diese Empfehlung liegt trotz der in HEC-RAS implementierten Subgrid-Technik in einer ähnlichen Größenordnung wie bereits vorherige Studien in kleinen Einzugsgebieten und anderen Modellen.

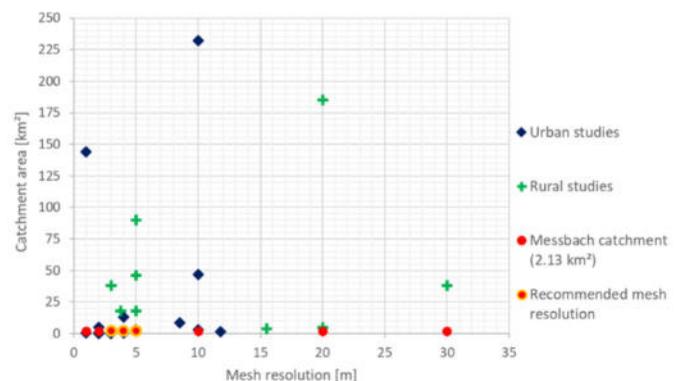


Abbildung 65: Vergleich der untersuchten Rechengitter und empfohlener Modellauflösung mit aktuellen Forschungsbeiträgen, entnommen aus [4]

[1] HEC HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual - Version 5.0; US Army Corps of Engineers - HEC: Davis, 2016.

[2] HVBG Digitales Geländemodell (DGM), 1m Auflösung; Hessisches Landesamt für Bodenmanagement und Geoinformation (HVBG): Wiesbaden, 2017.

[3] Casulli, V. (2009): A High-Resolution Wetting and Drying Algorithm for Free-Surface Hydrodynamics. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 60, 391-408, doi:10.1002/flid.1896.

[4] David, A. & Schmalz, B. (2021): A Systematic Analysis of the Interaction between Rain-on-Grid-Simulations and Spatial Resolution in 2D Hydrodynamic Modeling. Water, 13, 2346, doi:10.3390/w13172346.

[5] Aronica, G., Btes, P.D. & Horritt, M.S. (2002): Assessing the Uncertainty in Distributed Model Predictions Using Observed Binary Pattern Information within GLUE. Hydrol. Process., 16, 2001-2016, doi:10.1002/hyp.398.

Klimawandel im Gersprenz-Einzugsgebiet

Paula Farina Grosser, M.Sc.

Wie der sechste Sachstandsbericht des IPCC vor kurzem bestätigte, schreitet der Klimawandel schneller voran als bislang angenommen. Die durch den Klimawandel hervorgerufenen Veränderungen von hydrometeorologischen Prozessen äußern sich je nach Region unterschiedlich.

Da die Zukunft des Klimas mit großen Unsicherheiten einhergeht, wurden Szenarien als Grundlage für Vorhersagen erstellt. Die sogenannten RCP-Szenarien (Representative Concentration Pathways) beschreiben verschiedene Klimazukünfte, die sich an der Menge der in den kommenden Jahren emittierten Treibhausgase orientieren (Abbildung 66). Die RCPs sind nach einer möglichen Bandbreite von Werten für den Strahlungsantrieb im Jahr 2100 benannt. Während das RCP8.5-Szenario als "Weiter-wie-bisher"-Szenario bezeichnet werden kann, wird das RCP2.6-Szenario als Schadensbegrenzungsszenario beschrieben.

Anhand dieser Szenarien und hochkomplexen Klimamodellen können sogenannte Ensemble-Vorhersagen kreiert werden, die es ermöglichen den Klimawandel zu projizieren. Globale Vorhersagen können zusätzlich regionalisiert werden, um Studien in kleinerem Maßstab zu ermöglichen.

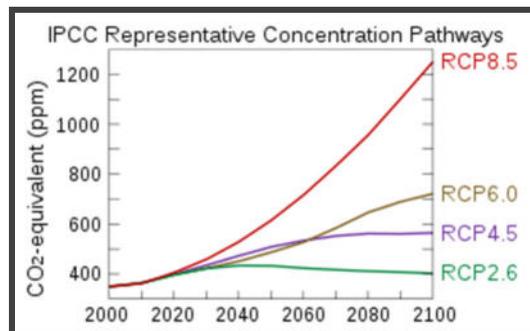


Abbildung 66: RCP-Szenarien (CC BY-SA 4.0)

Basierend auf dem Kernensemble des Deutschen Wetterdienstes (DWD) wurde das zukünftige Klima für das Gersprenz-Einzugsgebiet für den Zeitraum 2011-2100 abgeschätzt (Abbildung 67).

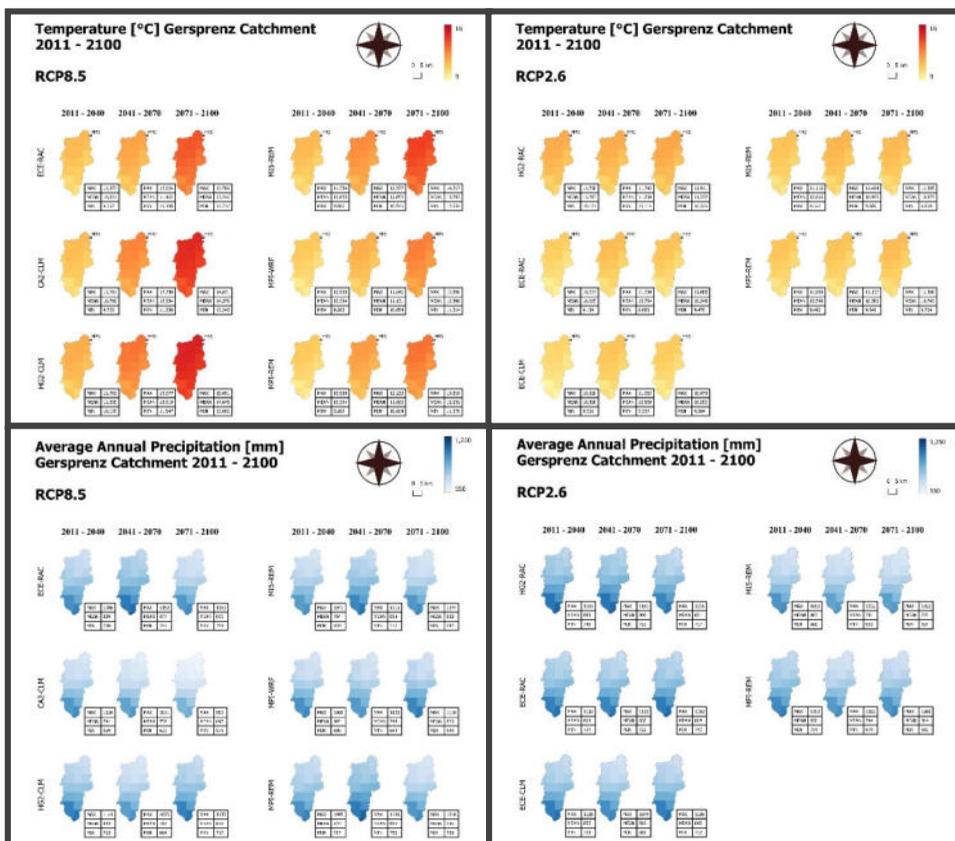


Abbildung 67: Projektionen der Temperaturen (oben) sowie der mittleren Jahresniederschläge (unten) im Gersprenz-Einzugsgebiet für die Gegenwart und nahe Zukunft (2011-2041), die mittlere Zukunft (2041-2070) sowie die ferne Zukunft (2071-2100); basierend auf den Emissions-szenarien RCP8.5 (links) und RCP2.6 (rechts).

Temperaturen sind im Allgemeinen leichter vorherzusagen als Niederschläge. Das bestätigen auch unsere Ergebnisse. Das „weiter-wie-bisher“-Szenario sagt einen signifikanten Anstieg der Mittel-, Maximal- und Minimaltemperaturen um bis zu 3,6°C in der fernen Zukunft (2071-2100) im Vergleich zur Gegenwart und nahen Zukunft (2011-2041) voraus. Dieser Trend wird im RCP2.6-Szenario deutlich abgeschwächt. Dort beträgt der Temperaturanstieg maximal 0,3°C.

Beim Jahresniederschlag sind keine klaren Trends erkennbar. Während einige Ensembles eine Zunahme der Niederschlagssummen vorhersagen, sagen andere Ensembles eine Abnahme der Niederschläge voraus.

Um die zukünftige Entwicklung der Wasserverfügbarkeit im Gersprenz-Einzugsgebiet abzuschätzen, wurden zusätzliche Klimaextreme untersucht. Abbildung 68 zeigt die Entwicklung der heißen Tage pro Jahr, an denen die maximale Tagestemperatur 30°C übersteigt. Die Anzahl der besonders heißen Tage nimmt im RCP8.5 Szenario während der Sommermonate signifikant zu. Im RCP2.6 Szenario ist dies nicht der Fall. Die Entwicklung der Trockentage pro Jahr, an denen der Tagesniederschlag weniger als 1 mm beträgt, weist keinen deutlichen Trend auf. Deshalb wurden zusätzlich saisonale Trendanalysen durchgeführt (Abbildung 69). Hier zeigte sich, dass im RCP8.5 Szenario die Anzahl der Trockentage im Sommer deutlich zunehmen wird, während die Winter tendenziell feuchter werden. Im Schadenbegrenzungsszenario waren keine signifikanten Trends erkennbar.

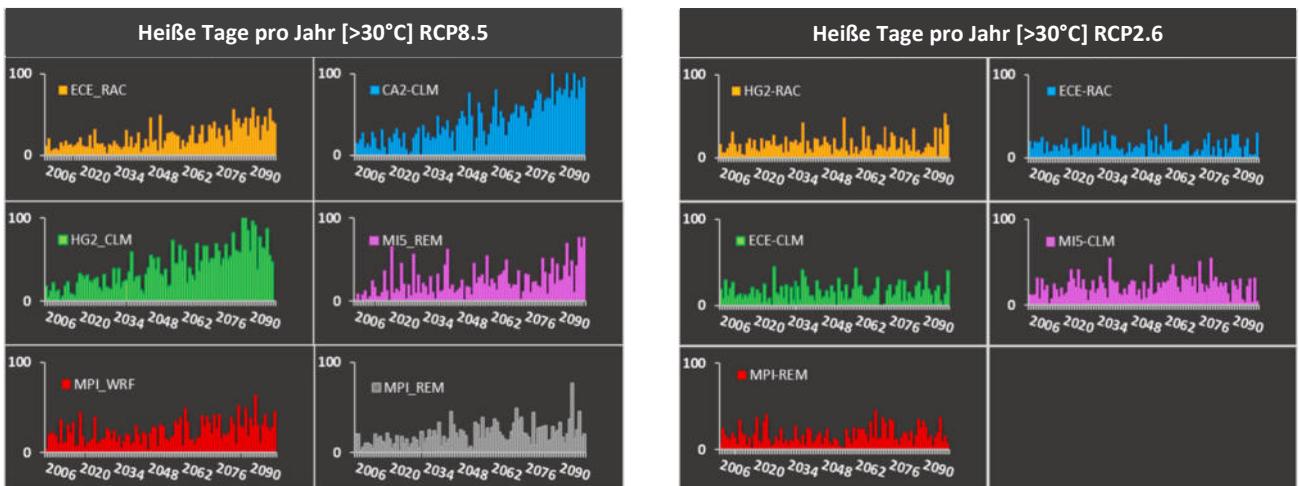


Abbildung 68: Projektionen der Anzahl an heißen Tagen im Jahr für das Gersprenz-Einzugsgebiet für die Emissionsszenarien RCP8.5 (links) und RCP2.6 (rechts)

Tendenz der Trockentage pro Jahreszeit RCP8.5				
	Winter	Frühling	Sommer	Herbst
ECE_RAC	→	→	↑	→
CA2-CLM	→	→	↑	↑
HG2_CLM	→	→	↑	↑
MI5_REM	→	↑	↑	→
MPI_WRF	→	→	↑	→
MPI_REM	↓	→	→	→

Abbildung 69: Saisonale Trendanalyse der Anzahl an Trockentagen für die Emissionsszenarien RCP8.5 (links) sowie RCP2.6 (rechts)

Unsere Untersuchungen haben gezeigt, dass der Klimawandel erhebliche Auswirkungen auf die Wasserressourcen im Einzugsgebiet der Gersprenz haben wird. Die im „Weiter-wie-bisher“-Szenario untersuchten extremen Entwicklungen werden im RCP2.6-Szenario deutlich abgeschwächt. Das bedeutet, dass wir extreme Folgen des Klimawandels nur verhindern können, wenn wir die globale Erwärmung auf maximal 2°C beschränken. Die Studie unterstreicht, wie wichtig es ist, sich an international rechtsverbindliche Vereinbarungen zur Bekämpfung des Klimawandels zu halten, um mögliche Folgen auf regionaler Ebene zu bewältigen.

Automatisierte Ableitung der Hauptbearbeitungsrichtung auf Ackerschlägen aus offenen Fernerkundungsdaten zur Bestimmung von Querbewirtschaftung

Dominik Scholand, M.Sc.

Bodenerosion auf Ackerflächen durch Wind und Wasser ist ein bekanntes globales Problem, das häufig auf eine intensive landwirtschaftliche Nutzung durch den Menschen zurückzuführen ist. Die Intensität der abgetragenen Bodenmasse ist abhängig von erosiven Faktoren wie Niederschlag und dem daraus resultierenden Oberflächenabfluss sowie von erodierbaren Faktoren, welche die Bodeneigenschaften und die Bodenbedeckung sowie die Bewirtschaftung berücksichtigen. Zur Ermittlung der Erosionsgefährdung durch Wasser hat sich in der Praxis die Allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) etabliert, die von der internationalen „*Universal Soil Loss Equation*“ abgeleitet wurde. Das empirische Modell der ABAG berücksichtigt Eingangsdaten zum Niederschlag (R-Faktor), zu den Bodeneigenschaften (K-Faktor), zur Topographie (L- und S-Faktor), zur Bodenbedeckung und -bearbeitung (C-Faktor) sowie Erosionsschutzmaßnahmen (P-Faktor). Durch Multiplikation der entsprechenden sechs Faktoren wird der langjährige, mittlere Bodenabtrag pro Jahr durch Regen berechnet. Bei der praktischen Anwendung der ABAG ist der P-Faktor der am meisten vernachlässigte Faktor. Er quantifiziert z.B. die Erosionsschutzmaßnahmen Streifennutzung - Fruchtwechsel in einzelnen Streifen - oder die in Abbildung 70 dargestellte Konturnutzung in Abhängigkeit von Neigung und Hanglänge. Dabei erfolgt im Optimalfall eine Bewirtschaftung des einzelnen Ackerschlaages parallel entlang der Höhen- bzw. Konturlinien im Gelände quer zur Hangneigung.



Abbildung 70: Querbewirtschaftung auf einem Acker (National Farmers Union 2017)

Da der P-Faktor standortspezifisch ist, muss er für jede landwirtschaftliche Parzelle (Ackerschlag) einzeln abgeleitet werden. Der Grund für die Vernachlässigung des P-Faktors liegt daher häufig im hohen Aufwand für die Quantifizierung der individuellen Maßnahmen oder fehlenden Eingangsdaten begründet. Dies führt in der Regel zu lokal überhöhten Ergebnissen in der Erosionsmodellierung und damit auch zu einem Vertrauensverlust in die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Fortschritte in der Fernerkundung haben unter anderem zu einer höheren Datenverfügbarkeit und -qualität geführt, sodass mittlerweile auch Bilddaten im Submeter-Bereich verfügbar sind. Diese Daten werden unter anderem durch Google Earth™ zur freien, nichtkommerziellen Nutzung bereitgestellt. Anhand dieser Fernerkundungsdaten kann für jeden Ackerschlag eine individuelle Bearbeitungsrichtung durch den Verlauf von Saatreihen und Fahrspuren innerhalb des Feldes abgeleitet werden. Für eine geometrische Definition der Ackerschläge können zum Beispiel die Referenzjahresnutzungen aus dem „*Land Parcel Information System*“ der Europäischen Union verwendet werden. Mit zunehmender Größe des Untersuchungsgebietes ist dieser manuelle Prozess jedoch sehr zeitaufwendig. Innerhalb dieses Forschungsvorhabens wurde daher die in Abbildung 71 dargestellte Methode entwickelt, um den Prozess der Ableitung der Bearbeitungsrichtung zu automatisieren. Dafür werden mit dem „*Fast Line Detector*“ bestehende Bildanalysetechniken aus dem *Open Computer Vision* Paket (OpenCV) auf hochaufgelöste Bilddaten von Google Earth™ angewendet, um lineare Strukturen detektieren zu können. Mit angepassten Parametereinstellungen bietet diese Methode eine adäquate Möglichkeit, Saatreihen und Fahrspuren auf dem Feld nachzuweisen. Ein Vergleich der abgeleiteten Bearbeitungsrichtung mit der mittleren Gefällerrichtung für jeden Ackerschlag ermöglicht schließlich die Bestimmung eines standortspezifischen P-Faktors für die Querbewirtschaftung.

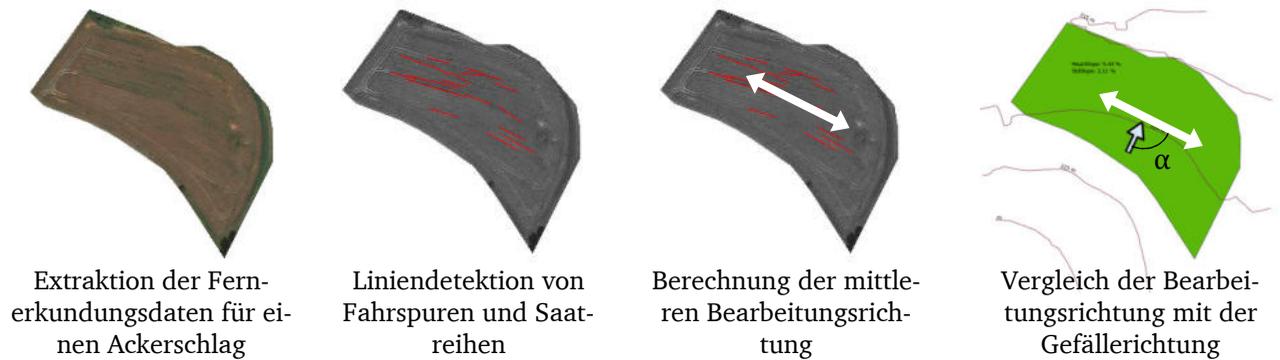


Abbildung 71: Arbeitsablauf der ackerschlagsbasierten Anwendung der Liniendetektion zur automatisierten Ableitung der Hauptbearbeitungsrichtung (Datenquelle: Google Earth™)

In einer ersten Anwendung der Methode im Einzugsgebiet des Fischbachs konnte für 77,7 % der insgesamt 278 untersuchten Ackerschläge erfolgreich die Bearbeitungsrichtung bestimmt werden.

Die Hauptursachen für eine erfolglose Detektion bei der ersten Anwendung sind in Abbildung 72 dargestellt. Die Probleme liegen insbesondere in vorhandener Bodenerosion und stark variierender Albedo innerhalb der Ackerschläge. Weiterhin verursachen Vorgewende (Wendebereiche der Landmaschinen) sowie einzelne, zum Teil auch überhängende Landschaftselemente und deren Schatten Objekte, die bei der Anwendung des Liniendetektors nicht berücksichtigt werden dürfen. Einen großen Einfluss auf die mittlere Ausrichtung der detektierten Linien haben zudem bei einer geringen Gesamtzahl an Linien auch einzelne Ausreißer in der Detektion.

Eine Parametrisierung des Liniendetektors auf Grundlage spezifischer Kulturarten brachte keine weitere Verbesserung in der Detektion. Jedoch konnte eine leichte Abhängigkeit der Parameter für Anbau- und Bewirtschaftungsform sowie Zeitpunkt der Aussaat und Wachstumsfortschritt der Pflanzen zum Zeitpunkt der Bildaufnahme festgestellt werden.

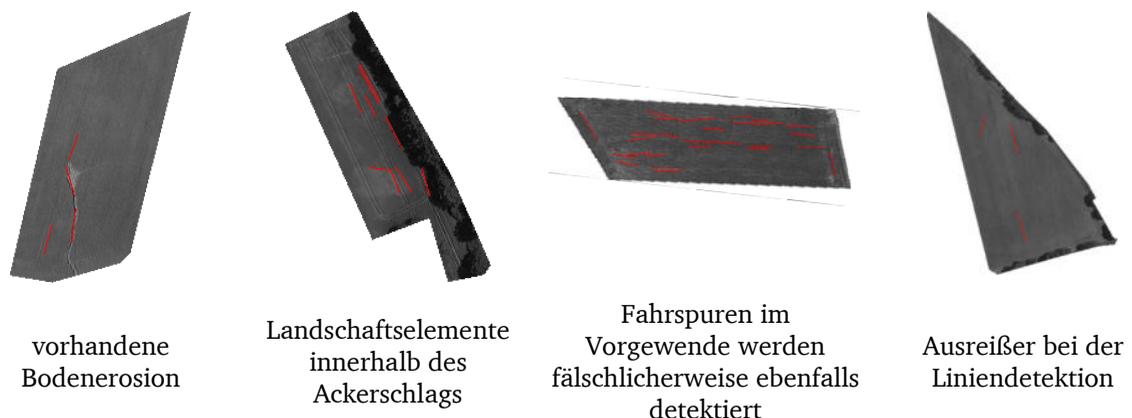


Abbildung 72: Ursachen für eine fehlerhafte Detektion der Bearbeitungsrichtung eines Ackerschlags

Eine verbesserte Datenaufbereitung und eine erweiterte Parametrisierung bieten vielversprechende Möglichkeiten für eine höhere Erfolgsquote dieser Methode. Eine Weiterentwicklung erfordert zunächst eine Verifikation der Ergebnisse an einem umfangreicheren Datensatz mit weiteren Kulturarten und größeren Ackerschlägen. Außerdem sollte auch der Einfluss der Bildauflösung und des Aufnahmezeitpunkts auf das Ergebnis der Liniendetektion genauer untersucht werden.

Schließlich würde eine Berechnung des jährlichen Bodenabtrags unter Berücksichtigung des P-Faktors im Vergleich zur üblichen Bestimmung der Bodenerosionsgefährdung ohne P-Faktor dessen Bedeutung für die Anwendung der ABAG aufzeigen. Dies könnte es auch staatlichen Institutionen und Behörden ermöglichen, den Landwirten geeignete Maßnahmen vorzuschlagen.

Auswertung von DWD-Radarniederschlagsdaten zur Parametrisierung von Starkniederschlagsereignissen

Manuel Perschke, M. Sc.

Projektpartner: Hochschule RheinMain
Arbeitsgruppe Starkregen und Sturzfluten



Veranlassung

Als flächendeckende Niederschlagsinformation sind Radardaten eine geeignete Datenbasis für räumliche Analysen der Niederschlagsverteilung. In Ergänzung zur langjährigen, punktuellen Niederschlagserfassung durch bodengebundene Stationen erlauben Radardaten eine räumlich differenzierte, qualitative und quantitative Darstellung der Niederschlagsverteilung. Konvektive Starkregenereignisse sind häufig durch extrem hohe Intensitäten auf sehr kleinem Raum ($< 10 \text{ km}^2$) gekennzeichnet, sodass selbst bei einem dichten Messnetz terrestrischer Niederschlagsstationen die Lokalisierung oft nur durch die Analyse von Radarniederschlagsdaten möglich ist. Weiterhin haben vereinzelt Fallstudien wie sie im Rahmen des Projekts KLIMPRACT Starkregen des HLNUG oder dem EGLV (Pfister et al. 2015) durchgeführt wurden gezeigt, dass die Verwendung von Radardaten als Antrieb für wasserwirtschaftliche Simulationen zu einer Verbesserung der Modellgüte führt und damit zu einer realistischeren Darstellung des Abflussgeschehens.

Ziel dieses Promotionsvorhabens ist die Identifizierung und Parametrisierung kleinräumiger konvektiver Starkregenereignisse auf Basis der beschriebenen Radarniederschlagsdaten. In diesem Rahmen soll ein Zellverfolgungsalgorithmus (weiter-)entwickelt werden, um neben statischen Niederschlagsparametern zusätzlich Informationen über den Lebenszyklus von Starkregenzellen zu erhalten. Die identifizierten und charakterisierten Starkregenereignisse sollen bezüglich ihrer raumzeitlichen Auftretenswahrscheinlichkeit („Jährlichkeit“), Intensitätsspitzen und gegebenenfalls anhand der örtlichen Auswirkungen klassifiziert werden. Auf Basis dieser Klassifizierung soll eine Bewertungs- und Bemessungsgrundlage in Form eines Datensatzes aus regionalen und realverteilten Modellregen für ingenieurpraktische Anwendungen generiert werden. Die Modellregen können alternativ oder ergänzend zu statistischen Starkniederschlägen (KOSTRA-DWD-2010R) u.a. für die Planung und Dimensionierung von Rückhaltebecken, Stadtentwässerungsnetzen oder Kläranlagen eingesetzt werden.

Für die Umsetzung der formulierten Ziele ist die Interaktion verschiedener Fachdisziplinen notwendig. Neben der (Ingenieur-)Hydrologie als Leitdisziplin finden insbesondere Methoden und Erkenntnis aus Meteorologie, Informatik und Data Science Anwendung.

Datengrundlage

Die Analyse wird auf Grundlage der Radarniederschlagsprodukte des Deutschen Wetterdienstes DWD durchgeführt. In Abbildung 73 sind die relevanten Radarprodukte und ihr Bezug zueinander schematisch dargestellt. Aus den lokalen Niederschlagsreflektivitäten (DX) der 18 C-Band Radarstationen werden die nationalen Radarprodukte abgeleitet: RADOLAN (Radar-Online-Aneichung) und RADKLIM (Radarklimatologie, Reprozessierung). Der Niederschlag wird nicht direkt durch Niederschlagsradare gemessen, sondern durch die elektromagnetischen Wellen, die vom Niederschlag zurückgestreut werden. Bei den Radarniederschlagsdaten handelt es sich demnach um eine Niederschlagsabschätzung aus den Reflektivitäten unterschiedlicher Hydrometeore, die unter Verwendung bodengebundener absoluter Niederschlagsmessungen angeeicht werden (Niederschlagsstationen).

Für die Parametrisierung der Starkniederschlagsereignisse werden die Radardaten in 5-Minuten-Auflösung ausgewählt. So können auch Dauerstufen kleiner eine Stunde differenziert betrachtet werden. In diesem Punkt unterscheidet sich das Promotionsvorhaben von bisherigen Untersuchungen, wie sie

z.B. im jüngsten KlamEx-Projekt (Nikogosian et al. 2021) von BBK (Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe) und DWD durchgeführt wurden, bzw. ergänzt diese. Die reprozessierten Radardaten (YW) liegen aktuell für den Zeitraum 2001 bis 2020 auf dem Open-Data-Server des DWD vor und werden fortlaufend, jährlich ergänzt und aktualisiert. Darüber hinaus werden die korrigierten, nicht-angeeichten RY-Daten in die Analyse einbezogen.

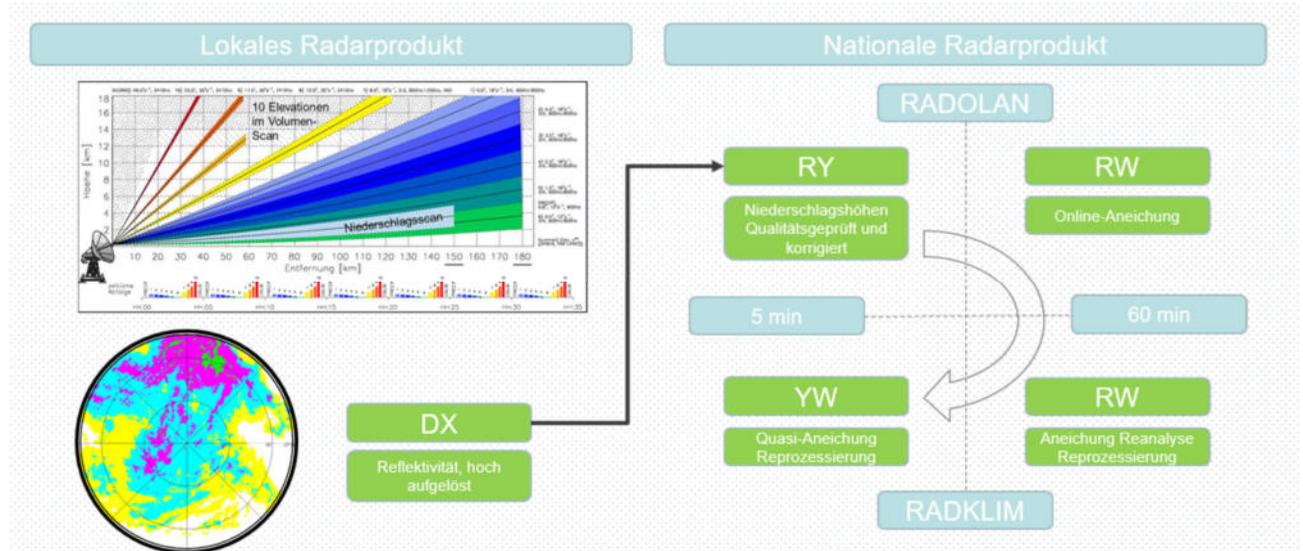


Abbildung 73: Zusammenstellung relevanter lokaler und nationaler Radarniederschlagsprodukte des DWD

Bisherige Arbeitsschritte

Datenformatierung – Die frei verfügbaren Radarprodukte des DWD werden standardmäßig im Binärformat abgelegt. Das Format hat den Vorteil einer hohen Informationsdichte und Kompressionsrate. Im entpackten Zustand haben die Daten allerdings einen hohen Speicherplatzbedarf – 4 TB für 20 Jahre Radardaten. Aufgrund der hohen Informationsdichte ist zudem die Auslesegeschwindigkeit der Binärdaten weniger effizient. Für die Optimierung der Speicher- und Zugriffseffizienz werden die Radardaten in das Bitmap-Grafikformat PNG überführt. Die einfache Struktur der Ausgangsdaten – größer 90 % Null und Randwerte – erlaubt eine effiziente, quasi-verlustfreie Kompression der Ausgangsdaten. Dadurch kann der Speicherbedarf der Radardaten auf ca. 2,5 % seiner ursprünglichen Größe reduziert und die Zugriffszeit minimiert werden. Zusätzlich werden die Radardaten durch das gewählte PNG-Grafikformat visualisiert (s. Abbildung 74).

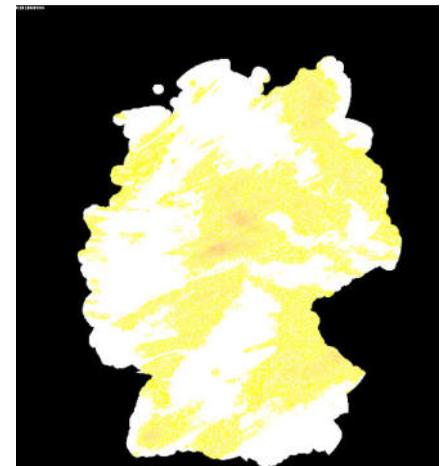


Abbildung 74: Niederschlagsradardaten (RW) im PNG-Format

Verarbeitungs- und Analyseroutinen – Ein weiterer Schritt ist die Nutzbarmachung der Daten für die ingenieurtechnischen Anwendungen. Zu den relevanten Sektoren zählen u. a. Hochwasser-/Sturzflutenvorsorge, Siedlungswasserwirtschaft sowie Raum- und Verkehrsplanung. In diesem Kontext ist eine Kooperation mit dem DWD angestrebt. Ziel ist die Entwicklung eines umfangreichen, benutzerfreundlichen, zeiteffizienten Verarbeitungs- und Analysetools. Die Verarbeitungsroutinen werden mit der Open-Source Programmiersprache Python 3 entwickelt und umfassen zurzeit folgenden Funktionen:

- a. Generierung von Zeitreihen für ausgewählte Rasterzellen
- b. Zeitliche und räumliche Aggregation der Zeitreihen
- c. Ableitung meteorologischer und hydrologischer Kennwerte (z. B. Vorregenindex)

d. Statistische Auswertung generierter Zeitreihen (z. B. extremwertstatistische Analyse nach DWA-A-531)

In der nächsten Entwicklungsstufe soll für das Verarbeitungswerkzeug eine innovative Benutzeroberfläche programmiert werden, um die Routinen für informatikfremde Fachnutzer anwendbar zu machen.

Abbildungsqualität der Radardaten – Vor Beginn der umfassenden Datenanalyse wird die Abbildungsqualität der Radardaten überprüft, dazu wird folgende Forschungsfrage formuliert: *Wie zuverlässig ist die Erfassung kleinräumiger, konvektiver Niederschlagsereignisse durch das deutsche Radarnetz und werden die Intensitätsspitzen realistisch abgebildet?*

Für die Verifizierung der Abbildungsqualität wurden 40 unabhängige Niederschlagsstationen des HLNUG mit einer zeitlichen Auflösung von 1-Minute als Referenz herangezogen. Es wurden Zeitreihen für die benachbarten Rasterzellen erzeugt und den Stationsdaten gegenübergestellt. Bisherige Untersuchungen der monatlichen Niederschlagssummen haben gezeigt, dass die Radarniederschlagsdaten bei kleinen Niederschlagsmengen – besonders im Winterhalbjahr – zu einer Unterschätzung der Regenmenge neigen. Für die Sommermonate zeichnen sich im Gesamten geringere saisonale Abweichungen zwischen den Stations- und Radardaten ab. Es kommt dabei sowohl zu Über- als auch zu Unterschätzung der Niederschlagsmenge.

Im nächsten Schritt wird explizit die Abbildungsqualität von identifizierten Starkregenereignissen untersucht. Es stellt sich dahingehend zusätzlich die Frage nach der Repräsentativität von Radarmessung für den Niederschlag am Boden. Durch die variierenden Erfassungshöhen kann es zu Verdriftungs- und Sedimentationseffekten – in Abhängigkeit von Tropfengröße, Aggregatzustand und Windgeschwindigkeit – bis zur Detektion am Boden kommen. Diese Effekte lassen sich durch eine räumliche und zeitliche Verschiebung der Intensitätsschwerpunkte in den Zeitreihen beschreiben. Für diesen Teil der Analyse werden sowohl die YW- als auch die RY-Daten betrachtet, um einen möglichen Dämpfungseffekt der Intensitätsspitzen durch die Aneichung zu identifizieren und zu quantifizieren.

Ausblick

Im Rahmen des RADKLIM-Projekts (Winterrath et al. 2017) hat der DWD eine statistische Niederschlagsauswertung der stündlichen RW-Daten nach dem DWA-Arbeitsblatt 531 vorgenommen. Als Ergänzung dazu soll unter Verwendung der gleichen oder einer vergleichbaren Methodik eine extremwertstatistische Auswertung der YW- und RY-Daten durchgeführt werden. Auf Basis dieser Auswertung sollen im Weiteren Schwellenwerte für die Identifizierung von Niederschlagsobjekten durch den Zellverfolgungsalgorithmus abgeleitet werden. Mithilfe des Trackings können u.a. Parameter wie Lebensdauer, räumliche Ausdehnung, Stadienwechsel, Intensitätsverlauf sowie Verlagerungsgeschwindigkeit und -richtung der Niederschlagsobjekte erfasst und ausgewertet werden.

Literatur

Nikogosian, C., Winterrath, T., Walawander, E., Fischer, I., Schmitz-Kröll, D. & Wischott, V. (2021): Klassifikation meteorologischer Extremereignisse zur Risikovorsorge gegenüber Starkregen für den Bevölkerungsschutz und die Stadtentwicklung. Projekt der Strategischen Behördenallianz „Anpassung an den Klimawandel“. Abschlussbericht.

Pfister, A., Treis, A. & Teichgräber, B. (2015): Der Einsatz von Radardaten für wasserwirtschaftliche Zwecke bei Emschergenossenschaft und Lippeverband. Korrespondenz Wasserwirtschaft, 8(2), 115-124.

Ruiz Rodriguez, E. & Guthörl, N. (2021): Hinweise zur Berechnung und Erstellung von Starkregengefahrenkarten in Hessen. Projekt KLIMPRAX Starkregen und Katastrophenschutz in Kommunen. https://www.hlnug.de/fileadmin/dokumente/klima/klimprax/starkregen/Ausschreibungshilfe_Starkregen-Gefahrenkarten_Juni-2021.pdf

Winterrath, T., Brendel, C., Hafer, M., Junghänel, T., Klameth, A., Walawander, E., Weigl, E. & Becker, A. (2017): Erstellung einer radargestützten Niederschlagsklimatologie, Berichte des Deutschen Wetterdienstes 251, 75 Seiten.

Internationale Forschungsaktivitäten

Wasserqualitätsmanagement kenianischer Flüsse

Projektförderer: Alexander von Humboldt-Stiftung

Projektpartner: Universität Eldoret, Kenia



Herr Dr. Julius Kipkemboi Kollongei von der Universität in Eldoret, Kenia, hat ein Georg Forster-Forschungsstipendium für erfahrene Wissenschaftler der Alexander von Humboldt Stiftung erhalten. Er ist Senior Lecturer/Researcher an der Abteilung für Agrar- und Biosystemtechnik und zudem Dekan der School of Engineering.

Im Rahmen seines Stipendiums wird sich Dr. Kollongei mit dem Thema *"Eco-Hydrological Functioning of a Riverine System in a Changing Catchment and Climate Context"* beschäftigen. Dabei geht es um Herausforderungen des Wasserqualitätsmanagements kenianischer Flüsse. Sein Arbeitsschwerpunkt ist das Sosiani-Einzugsgebiet, das in den Lake Victoria entwässert.

Hauptaugenmerk der Forschungsarbeiten liegt auf der Verbesserung der Wasserqualität von Flüssen in Kenia durch die Untersuchung des Verhaltens, der Umwandlung und des Transports von Nähr- und Schadstoffen innerhalb der Fließgewässersysteme. Der Aufbau einer Datenbank hilft bei der Überwachung und Bewertung der Wasserqualität. Auch die Abflussdynamik einschließlich der jährlichen und saisonalen Schwankungen entlang der Flüsse und ihre Auswirkungen auf die Verschmutzung wird berücksichtigt. Die Rolle der Feuchtgebiete bei der Selbstreinigung von Schadstoffen wird ebenfalls untersucht und modelliert. Dies soll dazu beitragen, die schädlichen Auswirkungen von punktuellen und diffusen Stoffquellen auf aquatische Systeme zu verringern.

Interessant sind an diesem Forschungsprojekt die Schnittstellen zum FG ihwb. Schon im Vorfeld des ersten Besuchs hat ein intensiver Austausch in Bezug auf unterschiedliche Messmethoden, Messgeräte sowie ausgewählte hydrologische Modelle stattgefunden. So unterschiedlich auch die klimatologischen und Einzugsgebietscharakteristika sein mögen, so ähnlich ist das methodische Vorgehen bei der Erfassung und Bewertung von Stoffquellen und -transportpfaden sowie ihrer Verbreitung.

Während Herr Dr. Kollongei zur Abstimmung des Konzepts zunächst in Darmstadt war (11/2021 bis 01/2022), organisiert und führt er dann Mess- und Probenahmekampagnen in Kenia durch und kommt danach für die Auswertung wieder nach Darmstadt (03/2023 bis 05/2024). Das Team vom ihwb freut sich über diese Kooperation und wünscht Herrn Dr. Kollongei viel Erfolg bei diesem Projekt.



Abbildung 75: Dr. Kollongei während einer Diskussion über Messgeräte in verschiedenen Einzugsgebieten

Forschung und Vernetzung in Arbeitsgruppen und Gremien

Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG)

Prof. Schmalz zur Präsidentin der DHG gewählt



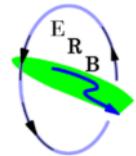
Die Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG) ist eine wissenschaftliche Gesellschaft und ein Zusammenschluss der auf dem Gebiet der Hydrologie und ihrer Anwendungsgebiete Tätigen. Ziel ist die Förderung von Wissenschaft, Forschung und Berufsbildung im Bereich der Hydrologie. Auf der im November 2021 durchgeführten Mitgliederversammlung wurde Frau Prof. Schmalz für drei Jahre zur Präsidentin gewählt. Sie war bereits in der vergangenen Wahlperiode im erweiterten Präsidium tätig.

Die DHG ist u.a. an der Mit-Organisation des "Tags der Hydrologie" (TdH), der größten deutschsprachigen Hydrologenkonferenz, beteiligt, vergibt einmal jährlich den Deutschen Hydrologiepreis, den DHG-Dissertationspreis, TdH-Posterpreise, Feldstipendien und organisiert ein Mentoringprogramm.

Als Kommunikationsplattform, durch fachliche Arbeitsgruppen sowie Organisation von Workshops werden Wissens-, Erfahrungs- und Informationsaustausch, insbesondere auch des wissenschaftlichen Nachwuchses, gefördert. So können Impulse für die Weiterentwicklung der wissenschaftlichen Grundlagen und deren Anwendung an der Schnittstelle zwischen Wissenschaft und Praxis entwickelt und gegeben werden.

Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB)

Als Leiterin der deutschen ERB-Arbeitsgruppe (*European Network of Experimental and Representative Basins*) hat Frau Prof. Schmalz einige Aktivitäten initiiert, die zur weiteren Zusammenarbeit und Vernetzung von kleinen hydrologischen Einzugsgebieten geführt haben. Der in 2021 bearbeitete Themenbereich betraf den Schwerpunkt Dürre und Trockenheit. Dazu wurde auch auf dem Tag der Hydrologie 2021 ein Poster präsentiert, das derzeit die Basis für die Vorbereitung einer Publikation darstellt.



Schmalz, B., Dietrich, S., Looser, U., Meesenburg, H., Miegel, K., Merensky-Pöhlein, F., Reinstorf, F., Rupp, H. & Suttmöller, J. (2021): Hydrologische Auswirkungen der Dürre in den Jahren 2018-2020 - Analyse von Lysimeterdaten und Beobachtungen in kleinen Einzugsgebieten. Tag der Hydrologie 30.08.-01.09.2021. Potsdam. Poster.

Chinesisch-Deutsche Kooperationsgruppe

Projektförderer: Chinesisch-Deutsches Zentrum für Wissenschaftsförderung

Projektpartner: Nanjing University of Information Science and Technology (NUIST)



Die seit 2018 laufende Chinesisch-Deutsche Kooperationsgruppe „Risikomanagement von Wasserknappheit“ konnte aufgrund der Coronavirus-Pandemie auch im Jahr 2021 die geplanten Aktivitäten leider nicht verwirklichen. Gegenseitige Besuche in China und Deutschland oder Workshops in Präsenz waren bedauerlicherweise nicht möglich. So mussten die Kontakte weiter digital stattfinden. Auch die Workshops wurden online durchgeführt. Unter dem Thema "Hydro-Climatological Extremes" fanden so zwei digitale Veranstaltungen statt:

- 18.-19.03.2021 mit Fachvorträgen und anschließender Diskussionsrunde zur Planung zukünftiger Aktivitäten (34 Teilnehmende)
- 07.12.2021 als Doktoranden-Workshop (51 Teilnehmende)

Die Teilnehmenden der Chinesisch-Deutschen Kooperationsgruppe hoffen, dass sie ihre Zusammenarbeit in 2022 in Form von Besuchs- und Konferenzreisen wieder vertiefen können.

UFOLake

Am 18.02.2021 fand die Gründungsversammlung des "*University Forum on Lake Studies and Watershed Ecosystems*" (UFOLake) statt. Frau Prof. Schmalz gehört neben 15 anderen Teilnehmenden aus China, USA, Canada, Russland, Indonesien und Thailand, zu den Gründungsmitgliedern.

UFOLake ist eine internationale Plattform für den wissenschaftlichen und politischen Austausch im Zusammenhang mit der Erforschung und Bewirtschaftung von Seen und ihren Einzugsgebieten, die von der Jiangxi Normal University (China) initiiert wurde. Dieses Forum hat sich zum Ziel gesetzt, die multidisziplinäre Integration und die Zusammenarbeit verschiedener Interessengruppen durch internationale Zusammenarbeit bei der langfristigen Überwachung, wissenschaftlichen Forschung sowie durch Technologie- und Wissensaustausch zu fördern. Diese Bemühungen werden dazu beitragen, die ökologische Qualität der Seen und ihrer Einzugsgebiete zu verbessern, den Wohlstand der regionalen Wirtschaft zu sichern, die Beziehung zwischen Mensch und Natur zu harmonisieren und letztlich zur Erreichung der Ziele für nachhaltige Entwicklung der Vereinten Nationen (SDGs) beizutragen.

International Association of Meteorological Education and Sciences (IAMES)



IAMES, die *International Association of Meteorological Education and Sciences*, wurde im Dezember 2020 gegründet, initiiert von der *Nanjing University of Information Science and Technology* (NUIST) in China und unterstützt von mehr als 30 Universitäten und wissenschaftlichen Forschungseinrichtungen aus über 20 Ländern. Auch Frau Prof. Schmalz hat an der Gründungsversammlung teilgenommen.

IAMES ist eine akademische und wissenschaftliche Organisation, die sich der internationalen Förderung und Koordinierung wissenschaftlicher Studien und Bildung im Bereich der Meteorologie widmet; dazu zählen Atmosphärenwissenschaft, Hydrologie, Umweltwissenschaft und andere mit der Meteorologie verbundene Disziplinen. IAMES fördert die Anwendung dieses Wissens auf gesellschaftliche Bedürfnisse wie Wettervorhersage, Klimawandel, Eindämmung von Naturgefahren und Umweltschutz.

IAMES wurde gegründet, um die meteorologische Ausbildung und Forschung anzuregen, wissenschaftliche und technologische Innovationen zu fördern, hochwertige Plattformressourcen gemeinsam zu nutzen, Entscheidungsträger zu beraten und die Koordinierungsfähigkeit bei wichtigen wissenschaftlichen Fragen zu verbessern.

Mittlerweile hat im November 2021 die erste IAMES-Konferenz stattgefunden, zudem finden regelmäßig Wissenschaftsforen statt (<https://www.iameworld.com/>).

Der Förderverein im Internet



Förderverein - Über den Verein

TU Darmstadt > Fachbereich > Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft > Förderverein > Über den Verein

Der Verein zur Förderung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt e. V. (kurz: IWW-Förderverein) ist ein eingetragener Verein, dessen Ziel darin besteht, Forschung und Lehre am Institut IWW zu fördern.

So wird die Förderung realisiert:

- Veranstaltung des → **DAWAKO**
- Honorierung **ausgezeichneter Abschlussarbeiten** über den → **IWW-Förderpreis**
- Unterrichtung von Fachleuten über **Forschungsergebnisse** in der Publikationsreihe → **WasserJahr**
- **Publikation** von wissenschaftlichen Arbeiten
- Bereitstellung von **Lehrhilfsmitteln**
- **Beihilfen** für wissenschaftliche Arbeiten, zur Ergänzung der apparativen Ausstattung und fachspezifischen Studienreisen

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:

https://www.iww.tu-darmstadt.de/foerdereverein_fviww/ueber_den_verein_fviww/index.de.jsp

Die Homepage beinhaltet folgende Rubriken:

Informationen über den Verein

- Hier finden sich Informationen, wie die Förderung realisiert wird sowie die Satzung des IWW-Fördervereins. Außerdem werden die Mitglieder des Vorstands sowie die Partner*innen des Vereins aufgelistet.

Förderpreis

- Für herausragende Abschlussarbeiten werden vom Förderverein Preise an die Bearbeitenden vergeben. Diese Rubrik stellt die Preisträgerinnen und Preisträger der vergangenen Jahre mit ihren Themen vor.

Publikationen

- Hier befindet sich das digitale Archiv des Jahresheftes WasserJahr, welches das Institut jährlich mit Unterstützung des Fördervereins publiziert. Alle Ausgaben können digital im PDF-Format heruntergeladen werden.

Mitglied werden

- Der Förderverein lebt als Netzwerk von der Vielfalt und dem fachlichen Austausch der Mitglieder. Bitte unterstützen Sie dies, werden Sie selber Mitglied und helfen Sie mit, neue Mitglieder anzuwerben. In dieser Rubrik befindet sich der Aufnahmeantrag.

DAWAKO

- Informationen zum aktuellen Darmstädter wasserbau- und wasserwirtschaftlichen Kolloquium (DAWAKO) sowie ein Archiv mit den Beiträgen der vergangenen DAWAKO's sind auf folgender Seite abgelegt: https://www.iww.tu-darmstadt.de/dawako_iww/index.de.jsp

WasserJahr 2021

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



2014



2015



2016



2017



2019



2018



2020

Das WasserJahr im Internet:
www.iww.tu-darmstadt.de



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung