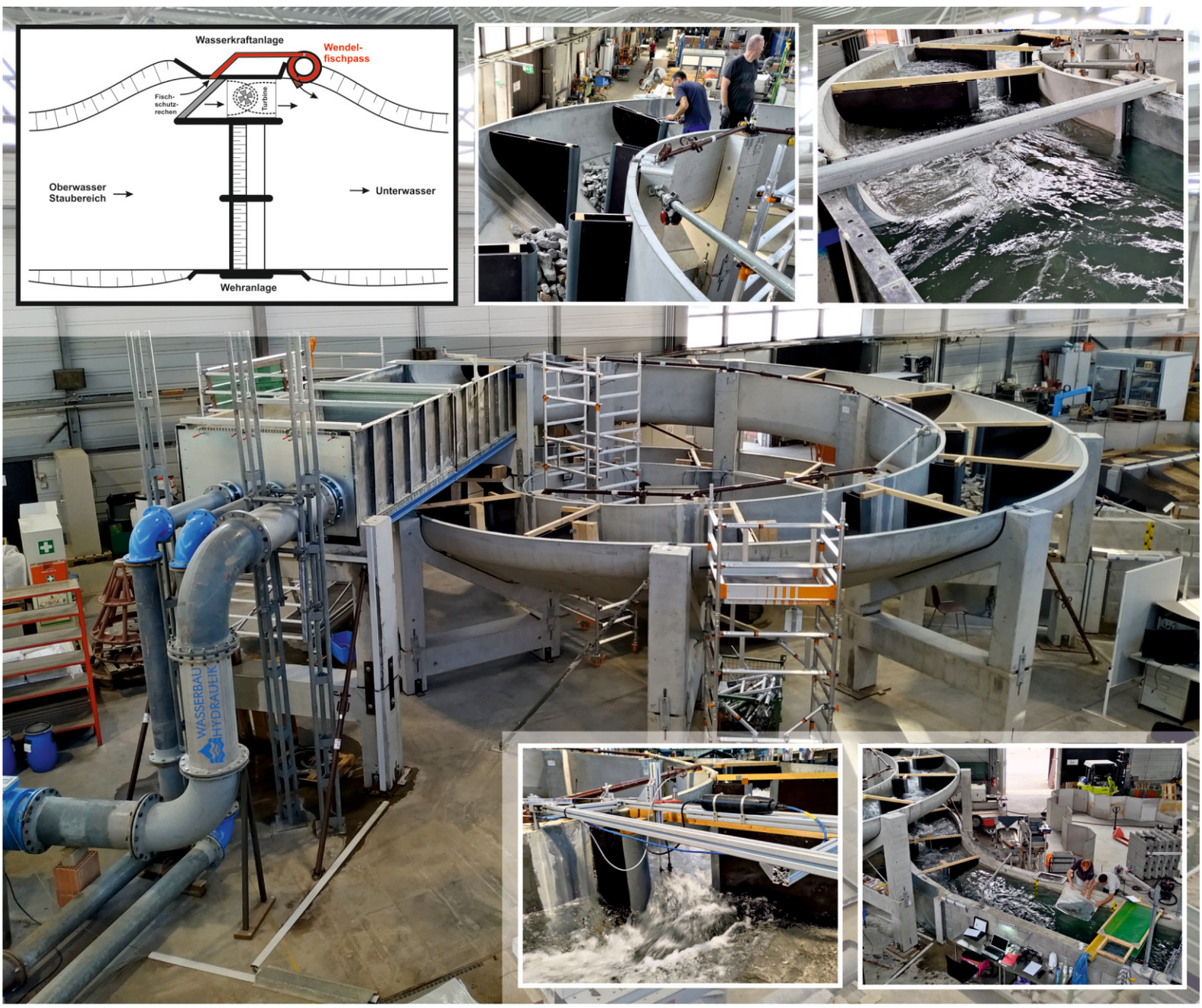
WasserJahr 2023

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Editorial

Sehr geehrte Damen und Herren, liebe Freundinnen und Freunde des Fördervereins,

in dem vorliegenden Heft möchten wir Ihnen gerne die aktuellen Aktivitäten des Instituts aus dem Jahr 2023 vorstellen.

Die Mitgliederversammlung des Fördervereins wurde im Juli durchgeführt. Sie war wiederum verbunden mit der Verleihung von Förderpreisen für herausragende Abschlussarbeiten sowie einem abendlichen *Get together*. Dazu finden Sie im Heft einen Bericht von unserem Vorsitzenden des Fördervereins.

Das WasserJahr 2023 gibt Ihnen einen Einblick in die unterschiedlichen Lehr-, Forschungs- und Promotionsvorhaben des Instituts. In der Lehre wurden in den meist gut besuchten Lehrveranstaltungen klassische und aktuelle bau- oder umweltingenieurwissenschaftliche Themen vermittelt. Ergänzt wurden die Vorlesungen durch verschiedene Übungen, Laborpraktika sowie Fachexkursionen. Zahlreiche Abschlussarbeiten, auch in Kooperation mit Praxispartnern, deckten interessante Themen aus Wasserbau und Wasserwirtschaft ab. Einige ausgewählte studentische Arbeiten sind als Kurzbeiträge im Heft veröffentlicht. Im Bereich der Forschung wurden verschiedene Projekte eingeworben, weiter bearbeitet oder abgeschlossen. Neue Teammitglieder konnten dazu eingebunden werden. Auch unter Nutzung der hervorragenden Ausstattungen des wasserbaulichen Forschungslabors bzw. des hydrologischen Feldlabors resultierten die interessante Ergebnisse sowie die nationalen und internationalen Kooperationen in weiteren Vernetzungen und Publikationen. Eine noch größere Sichtbarkeit in der Forschungslandschaft sowie eine aktive Gestaltung innerhalb der Universität wurde durch die Übernahme des Amtes als Dekan sowie die Leitung von Fachgesellschaften oder Arbeitsgruppen erzielt.

Unser gemeinsames Foto im Editorial wurde wie bereits in den letzten Jahren vor dem Gebäude des Instituts aufgenommen. Während die Lichtwiesenbahn mittlerweile zu unserem gewohnten Bild gehört und sich auch die damit verbundenen Baustellen immer weiter reduzieren, gibt es neue Baustellentätigkeiten im Bereich des alten Bauingenieurgebäudes. Zur Gestaltung eines neuen Eingangsbereichs sind ein barrierefreier Zugang, eine Terrasse sowie überdachte Fahrrad-Abstellplätze geplant und bereits in Arbeit.

Wir wünschen Ihnen nun viel Spaß beim Durchblättern und Lesen des WasserJahr 2023 und bedanken uns recht herzlich bei Ihnen allen für die gute Unterstützung des Instituts.

Prof. Dr. habil. Britta Schmalz, Fachgebietsleiterin

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann, Fachgebietsleiter

Wasserbau und Hydraulik

Inhalt

- Aus dem Förderverein 3
- Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten 6
- Aus den Fachgebieten: Wasserbau und Hydraulik 18
    - Lehre 18
    - Promotionen 21
    - Forschung 24
- Aus den Fachgebieten: Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung 36
    - Lehre 36
    - Promotionen 38
    - Forschung 41
- Beitrag eines Fördervereinsmitglieds 71
- Der Förderverein im Internet 73

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: Prototyp des Wendelfischpass im wasserbaulichen Forschungslabor (Aufnahmen: Borchardt)

Rückseite Impressionen aus dem hydrologischen Feldlabor (Aufnahmen: ihwb)

Aus dem Förderverein

Liebe Mitglieder,

vor Ihnen liegt das aktuelle Wasserjahr 2023 mit vielen interessanten Berichten rund um das Forschungsgeschehen an unserem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft. Jetzt, da ich diese Zeilen schreibe, hoffe ich sehr, dass Sie es beim Besuch des DAWAKO 2024 entgegennehmen und wir nach nunmehr drei Jahren das DAWAKO in diesem Jahr endlich wieder als Präsenzveranstaltung planen und umsetzen konnten.

Aufgrund der mit den COVID-19-Schutzmaßnahmen einhergehenden Einschränkungen und wegen mangelnder Planungssicherheit hinsichtlich der Energieversorgung speziell im Winter 2022/2023 konnten die Veranstaltungen nicht in ihrer gewohnten Form umgesetzt werden. Dennoch freue ich mich im Rückblick auch darüber, dass es uns als Verein gemeinsam mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts gelungen ist, das Vereinsleben aufrecht zu erhalten. Ein DAWAKO und eine Jahreshauptversammlung inklusive einer Vorstandswahl konnten als online-Veranstaltungen mit sehr guter Resonanz durchgeführt werden. Durch das Ausweichen in das Sommerhalbjahr konnten weitere Jahreshauptversammlungen in Präsenz durchgeführt werden. Etwas, dass nie ins Stocken geriet: Preise für herausragende Abschlussarbeiten wurden kontinuierlich auserkoren und verliehen. Das finde ich persönlich sehr bemerkenswert. Neben den Sponsoren möchte ich hier auch insbesondere der Jury danken.

Besonders in Erinnerung bleiben sicherlich die kombinierten Veranstaltungen, die im Sommer der beiden vergangenen Jahre mit Preisverleihung, Jahreshauptversammlung und anschließendem Barbecue und unter Wahrung aller Sicherheitsvorkehrungen ein Zusammenkommen in Präsenz ermöglichten.

Im Namen des Vorstands und der vielzähligen Mitwirkenden wünsche ich Euch und Ihnen allen viel Spaß bei der Lektüre.

Dr.-Ing. Andreas Wetzstein
Erster Vorsitzender

Aus dem Förderverein

Mitgliederversammlung am 23. Juli 2023

Die Mitgliederversammlung wurde auch in diesem Jahr wieder im Sommerhalbjahr abgehalten. Umrahmt wurde die Jahreshauptversammlung von der Verleihung der Förderpreise sowie einem abendlichen Barbecue.

Am 20. Juli 2023 fanden sich die Mitglieder in den Räumlichkeiten des Fachbereichs an der Lichtwiese ein.

Mit Dr. Hans-Jürgen Dallwig war leider auch im vergangenen Jahr wieder der traurige Verlust eines langjährigen Kollegen, Fördervereinsmitglieds und für viele von uns eines guten Freundes zu beklagen. Hans-Jürgen Dallwig bleibt nicht nur wegen seiner umfassenden Tätigkeiten und Errungenschaften für die neue Wasserbauhalle an der Lichtwiese uns allen in allerbester Erinnerung.

Dr. Hans-Jürgen Dallwig
23.3.1937 – 26.12.2022

Im vergangenen Jahr konnten zwei neue Vereinsmitglieder gewonnen werden, so dass mit Datum der Jahreshauptversammlung 97 Einzelmitgliedschaften und sieben Büromitgliedschaften zu verzeichnen waren.

Neben einer Spende über 200 Euro an die Studierenden des Fachbereichs für die Organisation der Orientierungswoche konnte im vergangenen Jahr wieder die Exkursion des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft mit 2000 Euro unterstützt werden.

Besonders zu erwähnen ist die Tatsache, dass ungeachtet der Ausfälle des DAWAKO die Förderpreise für herausragende Abschlussvergeben kontinuierlich vergeben werden konnten. Seit 2016 wurden bislang 24 Preise in einer Gesamthöhe von 11.100 EUR vergeben.

Abbildung 1: Get together an der Wasserbauhalle nach der Mitgliederversammlung

Verleihung der Förderpreise

Auch in diesem Jahr konnte der Förderverein drei Preise für herausragende Abschlussarbeiten am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft vergeben. Mit aquadrat ingenieure, Weber Ingenieure und Björnsen Consulting Engineers fanden sich wieder drei Ingenieurbüros, die einen Förderpreis von je 500,- Euro stifteten.

Die Jury setzt sich zusammen aus den Vereinsmitgliedern Dr. Gregor Dahlem, Dr. Arne Klawitter, Prof. Eckart Zäschke, Dr. Dirk Jelinek sowie Dr. Andreas Wetzstein. Aus den von Prof. Boris Lehmann und Prof. Britta Schmalz bereits mit sehr gut bewerteten Arbeiten, wurden die drei ausgewählt, die die Jury in der Summe am meisten beeindruckten.

Ausgewählt wurden die Abschlussarbeiten von Anne Bitterlich, Fabiola Emilia Siering und Simon Shayan. Im Vorprogramm zur Mitgliederversammlung stellten die AutorInnen ihre Arbeiten im Rahmen einer Kurzpräsentation vor. Sollten Sie diese Gelegenheit verpasst haben, können Sie die Inhalte der genannten Arbeiten dem vergangenen Wasserjahr entnehmen: dort sind die Abstracts der Abschlussarbeiten vorgestellt.

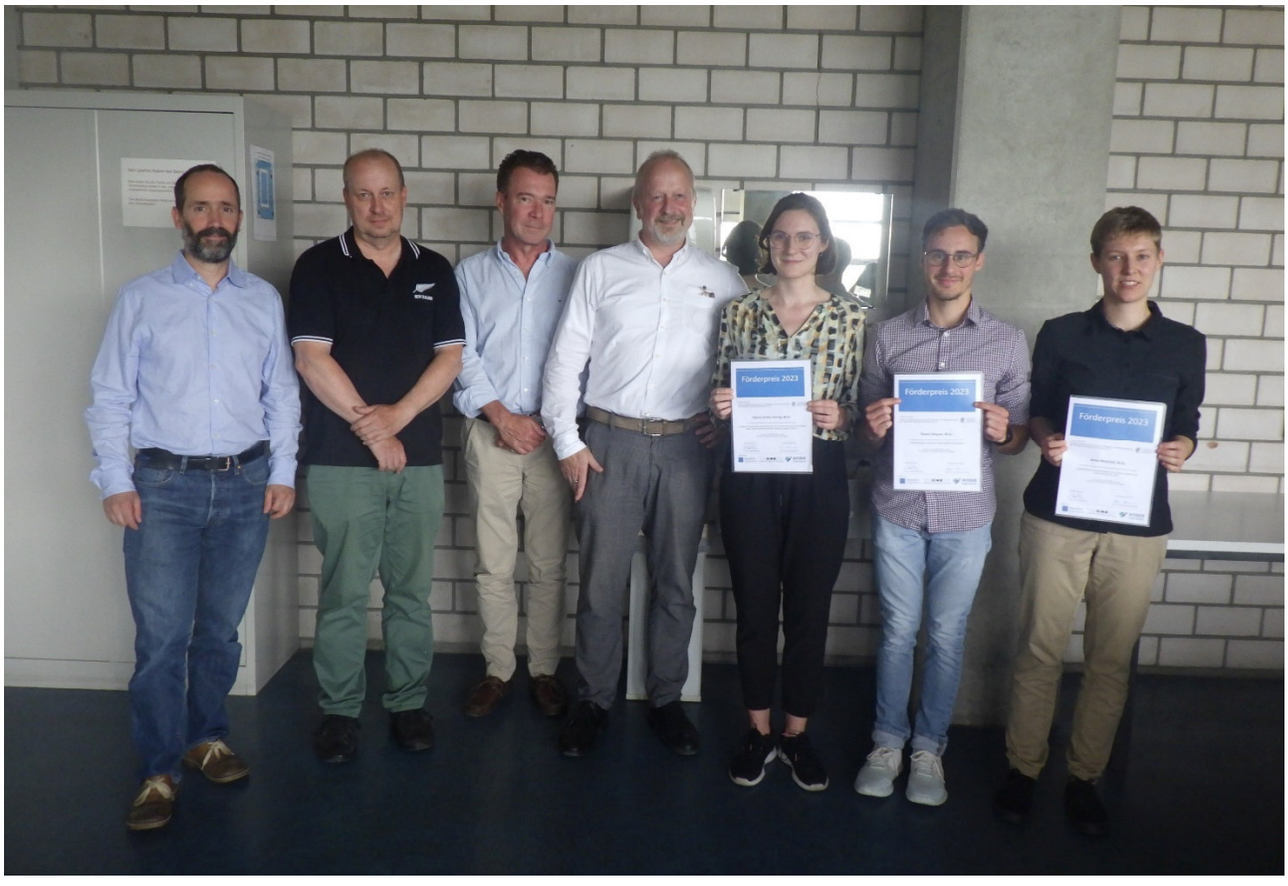


Abbildung 2: Sponsoren und PreisträgerInnen: v.l.n.r. Dr. Arne Klawitter (aqadrat ingenieure), Dr. Jörg Schaffner (Weber Ingenieuere), Dr. Dirk Jelinek (Björnsen Consulting Engineers), Dr. Andreas Wetzstein, Fabiola Emilia Siering, Simon Shayan, Anne Bitterlich

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Analyse von Regenwasserbewirtschaftungskonzepten in Mörfelden-Walldorf

Masterthesis von Wibke de Boer
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
und am Institut für Politikwissenschaft

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Durch den Klimawandel ist eine Zunahme der Häufigkeit und Intensität von Starkregenereignissen zu erwarten. Daher gewinnt im Kontext der Klimaanpassung von Städten und Kommunen auch die kommunale Überflutungsvorsorge an Relevanz. Am Fallbeispiel der südhessischen Mittelstadt Mörfelden-Walldorf wurde diese Thematik in der Masterthesis behandelt. Gegenstand der Thesis waren die Analyse des Überflutungsrisikos infolge von Starkregenereignissen in Mörfelden-Walldorf und des Umgangs der Stadt mit dieser Bedrohungslage. Außerdem wurden mögliche Handlungsoptionen skizziert.

Datengrundlage und Methodik

Maßgebliche Grundlage für die Analyse des Überflutungsrisikos war, neben einer Charakterisierung des Untersuchungsgebiets, eine topografische Gefährdungsanalyse in ArcGIS Pro. Bei der topografischen Gefährdungsanalyse fand auf Grundlage der ermittelten Fließpfade und Senken eine allgemeine Betrachtung des gesamten Untersuchungsgebiets sowie eine Ermittlung von potenziell besonders gefährdeten Bereichen statt. Für die Analyse des Überflutungsrisikos wurden zudem Informationen über vergangene Starkregenereignisse zusammengetragen und Niederschlagsdaten ausgewertet.

Neben der Analyse des Überflutungsrisikos wurde der Umgang der Stadt mit der Bedrohungslage durch Starkregenereignisse untersucht. Um Informationen über bereits durchgeführte und geplante Maßnahmen sowie die Arbeitsweise zu erhalten, wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit Verantwortlichen der Stadtverwaltung sowie weiteren relevanten Akteuren durchgeführt.

Basierend auf Empfehlungen aus der Literatur und den Erkenntnissen aus der beschriebenen Analyse wurden mögliche Handlungsoptionen für das weitere Vorgehen der Stadt Mörfelden-Walldorf aufgezeigt. Dabei wurde ein mögliches Konzept zur Überflutungsvorsorge entwickelt und mit den bereits umgesetzten oder geplanten Maßnahmen verglichen.

Ergebnisse

Es wurde festgestellt, dass Starkregenereignisse auch in Mörfelden-Walldorf häufig sehr lokal auftreten und teils nur einen der beiden Stadtteile betreffen. Die relevantesten Starkregenereignisse für die Analyse im Rahmen der Arbeit waren zwei Ereignisse im Juni 2007, die zu starken Überflutungen geführt haben. Die Berechnung der Senken und Fließpfade in ArcGIS Pro als topografische Gefährdungsanalyse war grundsätzlich erfolgreich (siehe Abbildung 3). Es wurde ersichtlich, dass sich der oberflächliche Abfluss aufgrund der Topografie vor allem in Walldorf nicht stark konzentriert. Verschiedene potenziell gefährdete Bereiche konnten identifiziert und deren potenzielle Gefährdung jeweils diskutiert werden. Es fand ein Vergleich der identifizierten Bereiche mit Bereichen, die in der Vergangenheit betroffen waren, statt. Dabei fiel auf, dass diese teils identisch sind. In diesen Fällen könnte die Überflutung in der Vergangenheit durch Oberflächenabflüsse erklärt werden. Eine detaillierte Beantwortung der Frage, wie das Überflutungsrisiko in Mörfelden-Walldorf einzuschätzen ist, konnte jedoch auf Grundlage der topografischen Gefährdungsanalyse sowie der Analyse bereits in der Vergangenheit betroffener Bereiche nicht gegeben werden.

Die Stadtverwaltung berücksichtigt das Konzept der wassersensiblen Stadtentwicklung bereits in ihrer Arbeit und hat verschiedene Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge umgesetzt. Es werden verschiedene regulative, ökonomische und informelle Instrumente genutzt, um die Umsetzung von Maßnahmen auf privaten Flächen zu erzielen. Auch konkrete bauliche Maßnahmen auf städtischen Flächen sowie Maßnahmen am Entwässerungssystem wurden bereits umgesetzt. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung der Masterthesis bearbeitete die Stadtverwaltung mehrere Konzepte, die einen Bezug zur Regenwasserbewirtschaftung allgemein sowie auch zur Überflutungsvorsorge hatten. Eine fachübergreifende Bearbeitung der Thematik innerhalb der Verwaltung hatte nicht stattgefunden und ein übergeordnetes Handlungskonzept existierte nicht.

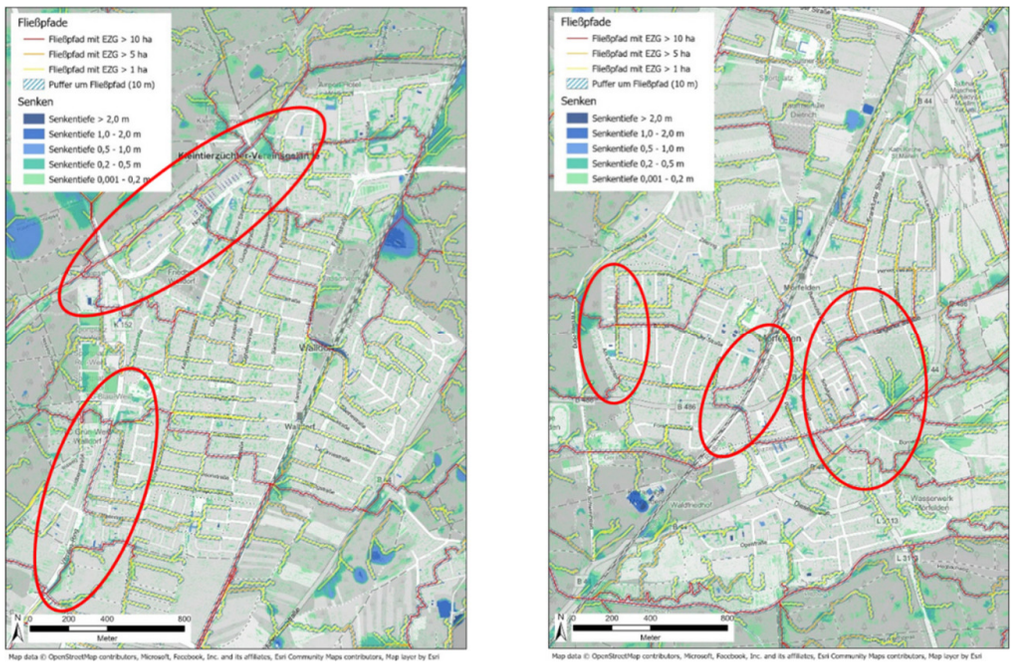


Abbildung 3: Potenziell gefährdete Bereiche nach einer groben Analyse der Ergebnisse der topografischen Gefährdungsanalyse (eigene Darstellung)

Es konnten verschiedene Handlungsoptionen für die Stadt aufgezeigt werden. Grundsätzlich wären eine detaillierte Risikoanalyse sowie die Erstellung eines darauf aufbauenden Handlungskonzepts möglich. Die Thematik könnte statt in einem Handlungskonzept allerdings auch im Rahmen eines anderen Konzepts bearbeitet werden. Um potenzielle Maßnahmen aufzeigen zu können, wurde ein mögliches grobes Konzept zur Überflutungsvorsorge erstellt und mit den bereits umgesetzten Maßnahmen und eingesetzten Instrumenten verglichen. Dabei wurden infrastruktur- und flächenbezogene sowie gewässer-, objekt- und verhaltensbezogene Maßnahmen beleuchtet. Im Bereich der infrastruktur- und flächenbezogenen Maßnahmen wurden beispielhaft bauliche Maßnahmen auf städtischen Flächen für das Einzugsgebiet des in der Vergangenheit besonders von Überflutungen betroffenen „Dalles-Bereichs“ aufgezeigt. Zudem wurden Optionen für die Arbeitsweise innerhalb der Stadtverwaltung beschrieben. Dabei wurde insbesondere die interdisziplinäre Bearbeitung der Thematik Überflutungsvorsorge als kommunale Gemeinschaftsaufgabe hervorgehoben. Zudem wurde die Beteiligung der Bevölkerung bei der Risikoanalyse und Erarbeitung von Maßnahmen empfohlen.

Fazit

Das Überflutungsrisiko der Stadt Mörfelden-Walldorf konnte in der Thesis grob analysiert werden. Für eine detailliertere Beschreibung des Risikos ist eine genauere Risikoanalyse, basierend auf einer hydrodynamischen Modellierung, notwendig. Der Umgang der Stadt mit der Gefährdungslage wurde analysiert, ein tieferer Einblick war jedoch nur begrenzt möglich. Es wurden verschiedene mögliche Handlungsoptionen aufgezeigt. Für eine genauere Planung von Maßnahmen braucht es jedoch eine bessere Datengrundlage. Das weitere Vorgehen sowie zu ergreifende Maßnahmen müssen dann von verantwortlichen Akteuren gemeinsam bestimmt werden.

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Hydraulische Modellierung zur Untersuchung von Renaturierungsmaßnahmen der Lahnaue zwischen Heuchelheim und Lahnau-Dorlar

Masterthesis von Cedric Philipp Guthier
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Im Rahmen des Integrierten Klimaschutzplans Hessen (IKSP) sollen in der Lahnaue zwischen Heuchelheim und Lahnau-Dorlar drei Renaturierungsmaßnahmen umgesetzt werden. Durch die Maßnahmen sollen unter anderem bessere Habitatbedingungen für die im Projektgebiet vorkommenden und z. T. stark gefährdeten Brut-, Zug- und Rastvögelarten geschaffen werden. Auch nach der Wasserrahmenrichtlinie besteht hier Handlungsbedarf, da der Gewässerabschnitt der Lahn aus hydromorphologischer Sicht in den Zustandsklassen drei (mäßig verändert) bis sieben (sehr stark verändert) eingeordnet wird. Ziel der Arbeit war es ein zweidimensionales hydrodynamisch-numerisches (2D-HN) Modell des Untersuchungsgebietes mit der Software HEC-RAS zu erstellen und damit die hydraulischen Auswirkungen der Renaturierungsmaßnahmen gegenüber dem Ist-Zustand abzuleiten, darzustellen und zu diskutieren. Die Modellierung erfolgte in enger Abstimmung mit dem Planungsbüro der Maßnahmen sowie dem Regierungspräsidium Gießen. Dies ermöglichte es das Modell im Planungsprozess als Entscheidungsgrundlage zur Wirkungsabschätzung der geplanten Maßnahmen für aktuellen Fragestellungen im Projekt zu verwenden.

Datengrundlage und Methodik

Für die Abbildung des Projektgebietes im Modell wurde durch die Verschneidung des DGM1 mit den Echolotdaten und den Querprofilen aus Geländevermessungen ein Digitales Geländemodell erzeugt, welches den gesamten abflusswirksamen Bereich des Projektgebietes abdeckt. Zur Modellierung der Geländerauheiten, welche als Fließwiderstände wirken, wurden die Polygone der Landnutzungsdaten auf Basis aktueller Luftbilder angepasst. Anschließend wurden den Landnutzungsklassen jeweils Rauheitsbeiwerte (Mannings-N) aus der Literatur zugeordnet. Als hydrologische Eingangsdaten wurden die Abflussdaten den Pegels Gießen-Klärwerk sowie hydrologische Kennwerte der Nebengewässer genutzt. Die Erzeugung des Rechennetzes erfolgte nach einem iterativen Vorgehen, um sowohl das Gelände als auch die Rauheiten optimal abzubilden. Nach der Simulation des Ist-Zustandes wurde durch den Abgleich der Modellergebnisse mit unabhängigen Daten die Aussagekraft des Modells überprüft. Dies erfolgte über den bordvollen Abfluss, den Vergleich mit den ausgewiesenen Überflutungsflächen für HQ_{10} und HQ_{100}, dem Wassertiefenvergleich der drei Renaturierungsbereiche mit dem Hochwasserrisikomanagement-Viewer sowie dem Abgleich der Modellierung und Abgleich mit den Drohnenaufnahmen eines vergangenen Hochwasserereignisses. Zur Beurteilung der Auswirkungen der geplanten Renaturierungsmaßnahmen wurden sowohl Variantenstudien bei veränderten hydrologischen Randbedingungen als auch bei veränderten Systemgeometrien durchgeführt. Dies ermöglichte die Anteile einzelner Planungselemente an den Auswirkungen der verschiedenen Maßnahmen herauszuarbeiten. Neben der Modellierung von konstanten Abflüssen diente die Beaufschlagung der Randbedingungen mit ausgewählten Abflussganglinien dazu, die Wirkung der Maßnahmen auf die Abflussdynamik des gesamten Projektgebietes sowie den Einfluss auf den Verlauf der Hochwasserwelle bzw. die Hochwasserneutralität zu beurteilen.

Ergebnisse

Das Modell zeigt, dass die Entlastungsmulde einen Rückgang der Fließgeschwindigkeiten im Mündungsbereich der Bieber in die Lahn bei an der Bieber auftretenden Hochwasserereignissen bewirkt. Ein Rückgang der Überflutungen tritt jedoch nur bedingt ein, da die Lahn durch den Einlaufbereich der Hochflutmulde in den südlichen Teil des Vorlandes zurückstaut. Zudem treten weiterhin Ausuferungen der Bieber im nördlichen Vorland auf. Da das Wasser in diesem Fall durch die Maßnahme direkt wieder in die Lahn zurückgeleitet wird, werden die Flächen im östlichen Teil des Projektgebietes insgesamt weniger vernässt. Für den Maßnahmenraum Watzloch stellt sich heraus, dass durch die angedachte Verlängerung des Deichs eine Vernässung der nördlich angrenzenden Felder bei HQ_1 unterbunden werden kann. Damit hat der Deich das Potential die landwirtschaftlichen Flächen aufzuwerten und ggf. die Akzeptanz der Landwirte für die Maßnahme zu erhöhen. Die Anbindung der Kinzenbacher Lache an die Lahn ändert sich dahingehend, dass diese im Hochwasserfall nicht mehr von den Ausuferungen der Bieber, sondern direkt von der Lahn her angeströmt wird (s. Abbildung 4, links). Durch den Rückstau des Wehres besteht eine mögliche Verlandungsgefahr in den geplanten Altarmen, was bei den Unterhaltungsmaßnahmen mit zu berücksichtigen ist. Insbesondere bei Niedrigwasserabflüssen verstärkt sich diese Thematik noch aufgrund geringerer Fließgeschwindigkeiten. Um potenzielle Sedimentablagerungsgebiete zu identifizieren dort die Strömungssituation analysiert (s. Abbildung 4, rechts).

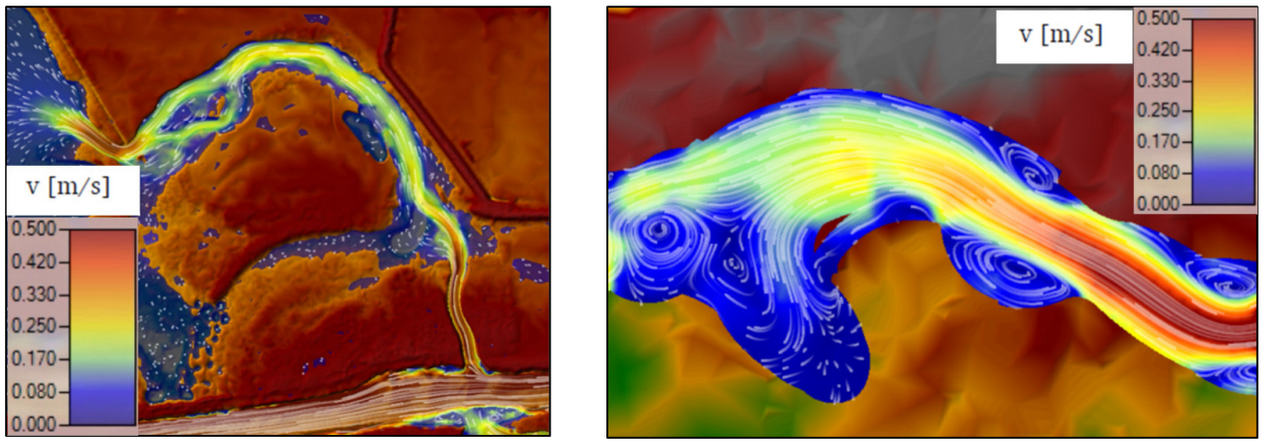


Abbildung 4: Ausschnitte Strömungssituation im Watzloch (links) und im südlichen der anzulegenden Altarme im westlichen Renaturierungsabschnitt (rechts) (Screenshots HEC-RAS)

Die Analyse der Wassertiefenverläufe bei verschiedenen Hochwasserganglinien zeigt, dass nur geringe Wassertiefendifferenzen zwischen Ist- und Planungszustand auftreten, wodurch die Hochwasserneutralität der Maßnahmen für die Ober- und Unterlieger gewährleistet ist. Bei ablaufendem Hochwasser kann der auch ökologisch gewünschte Wasserrückhalt erzielt werden.

Fazit

Aufgrund der getroffenen Annahmen bei der Modellbildung und aufgrund mangelnder Daten für eine genaue Kalibrierung ist das Modell mit Unsicherheiten behaftet. Für quantitative Aussagen ist das Modell daher nur eingeschränkt geeignet. Die unterschiedlichen Methoden der Plausibilitätsprüfung zeigen jedoch, dass das Modell für das überprüfte Abflussspektrum belastbare Ergebnisse liefert. Damit eignet es sich gut für das Ableiten qualitativer Aussagen, wie dem Durchführen von Variantenstudien und der Visualisierung für Fachfremde. Es konnte verdeutlicht werden, dass hydrodynamische und numerische 2D-Modelle ein wichtiges Werkzeug bei der Planung von Renaturierungsmaßnahmen darstellen. Nicht zuletzt eröffnen sie neue Möglichkeiten Fließvorgänge im Gewässer hydraulisch detailliert zu analysieren und visuell aufzubereiten.

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Mehrwert des Einsatzes von 2D-HN-Modellen für die Gewässerentwicklungsplanung

Masterthesis von Leonhard Racke
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik
in Kooperation mit BGS Wasser GmbH

Studiengang: Bauingenieurwesen

Veranlassung und Ziele

Die Weschnitz soll im Rahmen eines Gewässerentwicklungsprojekts unterhalb von Weinheim aus ihren begradigten, eingedeichten Läufen in ein neu angelegtes, naturnahes Flussbett geführt werden. Im Rahmen dieses Projekts wurden die möglichen Anwendungsbereiche eines 2D-HN-Modells untersucht mit dem Ziel, Empfehlungen für den Einsatz zu bestimmten Fragestellungen zu geben. Die 2D-HN-Modellierung ist bereits Stand der Technik, wenn es um die Ermittlung von Überflutungsflächen geht, wozu sich die Flachwassergleichungen bewährt haben. Der Mehrwert der Berücksichtigung von Feinstrukturen wie z. B. Störsteinen oder Totholz in einem großräumigen 2D-HN-Modell ist hingegen weniger erforscht. Da die Strukturelemente insbesondere in der Gewässerentwicklung zur Bereitstellung von Habitaten für Fauna und Flora eine wichtige Rolle spielen, wurde ihr Einfluss auf die Simulationsergebnisse im Rahmen dieser Arbeit untersucht.

Datengrundlage und Methodik

Für die Beantwortung der Fragestellung wurde ein Variantenstudium hinsichtlich des Abstraktionsgrads im 2D-HN-Modell durchgeführt. Grundlage dafür stellt ein Berechnungsnetz des Ist-Zustands der Weschnitz dar, das anhand von DGM, vermessenen Gewässerprofilen, Landnutzungsdaten und Beobachtungen aus einer Ortsbegehung erstellt wurde. Für das Variantenstudium wurde ein Abschnitt des geplanten neu angelegten Flusslaufs zunächst im Regelquerschnitt modelliert (Variante 0). Mit jeder weiteren Variante wurde das Modell um Strukturelemente ergänzt. Für Variante 1 sind dies Nebenarme und Breitenvarianz sowie Prall- und Gleitufer. In Variante 2 wiederum kommen Kolke und Fließrinnen sowie Inseln und Kiesflächen hinzu. Variante 3 stellt den höchsten Detaillierungsgrad dar mit Teilhabitaten wie Totholz und strömungslenkenden Objekten wie Buhnen und Störsteinen. Abbildung 5 zeigt die verschiedenen Varianten. Dabei wird zwischen Variante 3a und 3b unterschieden. Dies dient der Analyse des Unterschieds aus geometrischer Modellierung (3a) und der abstrahierten Modellierung der Feinstrukturen lediglich über eine Anpassung der Oberflächenrauheit (3b).

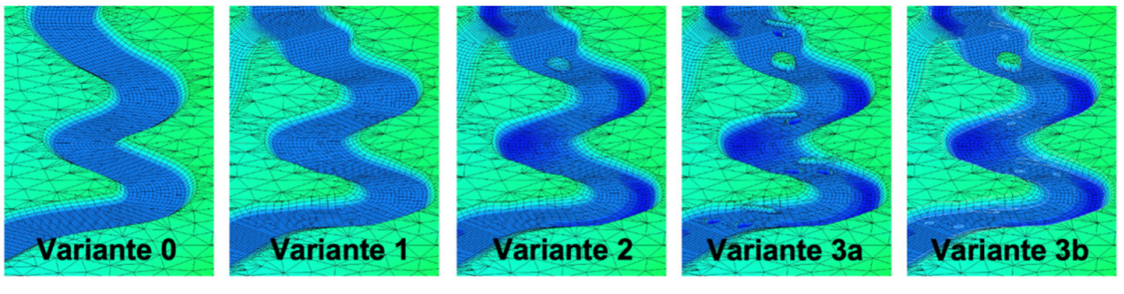


Abbildung 5: Ausschnitte aus dem Berechnungsnetz der fünf Varianten

Ergebnisse

Die hydraulischen Berechnungen an den Varianten wurden mit dem Programm HydroAS für verschiedene Abflussszenarien von MNQ bis HQ_{10} durchgeführt. Die Auswirkungen der Feinstrukturen machen sich insbesondere bei Niedrigwasser bemerkbar, sodass bei Variante 3a ein Erscheinungsbild entsteht, das von starker Strömungsdiversität geprägt ist. Es herrscht ein ständiger Wechsel aus unterschiedlich hohen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten und in den strömungsberuhigten Bereichen hinter

Buhnen liegen Kehrwasser vor. Die Störsteine werden bei MNQ überall umströmt, sodass der Stromstrich verlagert wird und in den anliegenden Kolken ein Strömungsschatten entsteht. Dies ist in Abbildung 6 im Kontrast zu Variante 0 dargestellt. Sobald die Strukturen bei steigenden Abflüssen überströmt werden, verliert das Fließbild schnell an Vielfalt. Gleiches gilt für die abstrahierte Modellierung über rauere k_{St}-Werte, die lediglich bei MNQ für eine Verlagerung des Stromstrichs sorgt.

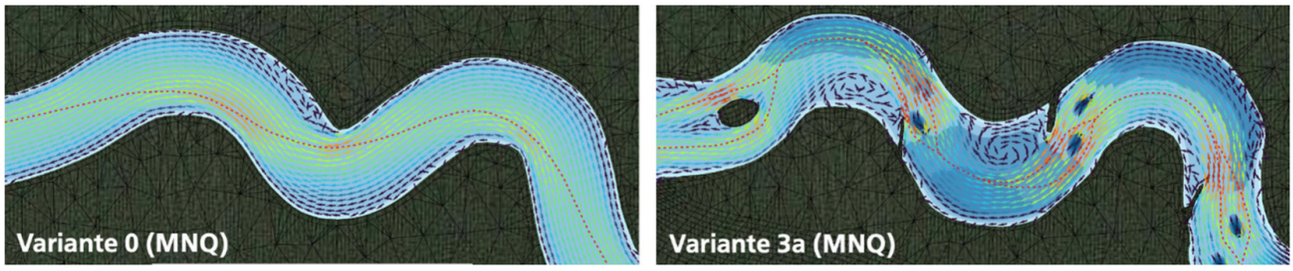


Abbildung 6: Ergebnisse für Wassertiefe und -geschwindigkeit mit eingezeichnetem Stromstrich

Die Modellierung von Feinstrukturen ist mit einem erhöhten Zeitaufwand verbunden und zusätzlich steigt die Simulationsdauer. Neben der Anzahl der Knoten beeinflussen auch der Detaillierungsgrad und damit einhergehend die Elementgrößen die Rechendauer maßgeblich (siehe Abbildung 7). Aus den im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten numerischen Modellierungen ergibt sich eine hohe Informationsdichte aus Strömungsbildern, Fließtiefen und -geschwindigkeiten sowie Erosions- und Auflandungsprozessen an einem geplanten Flusslauf. Letztere stammen aus einer zusätzlichen Simulation des Feststofftransports (siehe Abbildung 8).

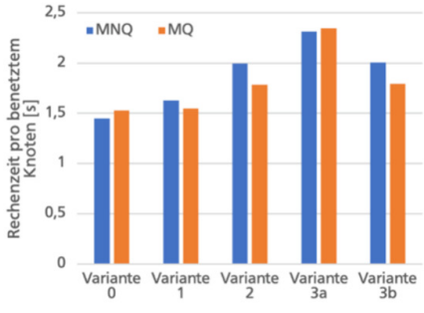


Abbildung 7: Auswertung der Rechenzeit

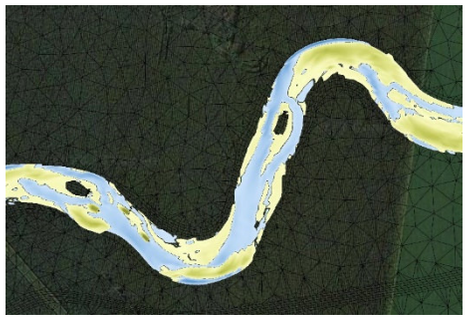


Abbildung 8: Erosion und Auflandung der FT-Simulation

Aus den Kenntnissen wurden zusammenfassend konkrete Einsatzempfehlungen abgeleitet. Als sinnvoll eingestuft werden kann die Modellierung von Breitenvarianz und naturnaher Böschungsneigung sowie Strukturen, die den Fließquerschnitt maßgeblich beeinträchtigen. Sie wirken sich auf das Ausuferungspotenzial eines Gewässers aus und sind hauptsächlich für dessen Gestalt verantwortlich. Die Modellierung von Tiefenvarianz, Feinstrukturen und Teilhabitaten ist als bedingt sinnvoll einzustufen. Sie ist hauptsächlich vom Ziel der numerischen Berechnung abhängig und spielt bspw. bei der Untersuchung von Überflutungsflächen bei Hochwasserabflüssen eine kleinere Rolle als bei einer Niedrigwasseranalyse. Die Um- und Überströmung von Feinstrukturen wird außerdem im 2D-HN-Modell ungenau ermittelt, da die vertikale Strömungskomponente vernachlässigt wird. Die Feststofftransportsimulation an kleinen Fließgewässern wird als nicht sinnvoll eingestuft, da sie auf einer Vielzahl von geschätzten Parametern basiert und die Ergebnisdynamik kaum belastbar ist.

Fazit

Die Skala der Feinstrukturen, die im naturnahen Wasserbau Anwendung finden, stellt eine Herausforderung für Prognosen mittels 2D-HN-Modellierung dar. Die breit aufgestellten Untersuchungen, die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführt wurden, ermöglichten die Entwicklung von Anwendungsempfehlungen, die sich hauptsächlich auf den Detaillierungsgrad bei bestimmten Fragestellungen beziehen. Um quantitative Modellierungsvorschriften geben zu können, sind weiterführende Detailuntersuchungen notwendig.

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Simulation der Infiltration und Versickerung in der oberen Bodenschicht mittels Hydrus-1D

Masterthesis von Elisabeth Schintgen
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb)

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Mit Niederschlag-Abfluss-Modellen wird der Abfluss, der sich aus dem Niederschlag bildet, simuliert. Viele Modellansätze beinhalten Parameter, die der Abbildung der Infiltration als Teilprozess der Abflussbildung dienen. Zur Parametrisierung der Modelle werden Kennwerte wie die Infiltrationsrate benötigt, die durch Feld- und Laborversuche bestimmt werden können. Für ein ganzes Einzugsgebiet (EZG) ist dies jedoch meist nicht durchführbar. Eine Alternative zur Messung ist die indirekte Ableitung aus vorhandenen Kartenwerken und numerischen Modellen. Inwieweit dies verwendbare Ergebnisse liefert, ist bisher nur wenig erforscht.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Infiltrationsrate an ausgewählten repräsentativen Standorten im Fischbach-EZG zu bestimmen sowie den Einfluss der Faktoren Standort, Landnutzung und Bodeneinheit auf diese zu überprüfen. Ein weiteres Ziel ist die Simulation der Infiltration und Versickerung in die obere Bodenschicht mittels Hydrus-1D (Šimůnek et al., 2005-2008) anhand verschiedener Eingangsparameter. Dabei wird untersucht, inwieweit die gemessenen Infiltrationsraten und -verläufe über die Zeit mit dem Modell nachgebildet werden können und inwiefern die Simulation, deren Eingangsparameter auf der BFD50 in Verbindung mit der bodenkundlichen Kartieranleitung beruhen, verwendbare Ergebnisse liefert.

Datengrundlage und Methodik

Die Infiltrationsrate wird mittels Doppelringinfiltrometer (DRI) bestimmt (s. Abbildung 9). Zur Simulation der Infiltration und Versickerung von Wasser in die obere Bodenschicht wird die Software Hydrus-1D verwendet. Die Eingangsparameter für die fünf verschiedenen Simulationsvarianten stammen aus den durchgeführten Infiltrationsversuchen sowie entweder aus den an den Versuchsstandorten entnommenen Bodenproben oder den digitalen Bodenflächendaten 1:50.000 Hessen (BFD50) (HLNUG, 2017) in Kombination mit der bodenkundlichen Kartieranleitung. Im Labor werden die Korngrößenverteilung mittels Siebung und Sedimentation sowie die Trockendichte der Bodenproben bestimmt.

Abbildung 9: DRI - Versuchsaufbau (eigene Aufnahme)

Ergebnisse und Diskussion

Im EZG Fischbach wurden mit dem DRI Infiltrationsraten zwischen 0,001 mm s^{-1} und 0,484 mm s^{-1} ermittelt. Nach der bodenkundlichen Kartieranleitung sind diese Raten als hoch bis extrem hoch einzuordnen. Mögliche Erklärungen für diese hohen Werte sind u.a. Makroporen oder laterale Wasserströmungen unterhalb des Innenrings des DRI.

Es wurde eine Variabilität der Endinfiltrationsrate bei Wiederholungsmessungen sowohl an einem Standort als auch innerhalb einer Standortgruppe (Standorte mit derselben Bodeneinheit und Landnutzung) festgestellt. Die ermittelten Variationskoeffizienten sind mit Literaturwerten vergleichbar. Die unterschiedlichen Endinfiltrationsraten sind zurückzuführen auf die Heterogenität des Bodens (räumliche Variabilität der Bodeneigenschaften und Makroporen). Um einen aussagekräftigen Mittel-

wert der Endinfiltrationsrate an einem Standort zu erhalten, ist es folglich empfehlenswert, Wiederholungsversuche durchzuführen. Die Übertragung der DRI-Ergebnisse eines Standorts auf einen anderen Standort mit derselben Bodeneinheit und Landnutzung ist nur eingeschränkt möglich. Mithilfe einer Varianzanalyse konnte gezeigt werden, dass sich Acker- von Laubwald- sowie Wiesen und Weiden von Laubwald-Standorten in den Mittelwerten der Endinfiltrationsrate signifikant unterscheiden. Die Landnutzung sollte demnach bei der Abschätzung der Endinfiltrationsrate berücksichtigt werden. Dagegen zeigt die Varianzanalyse für die Bodeneinheiten keine signifikanten Unterschiede der Mittelwerte der Endinfiltrationsraten an. Anhand der Bodeneinheit aus den BFD50 (allein) kann also nicht auf die Endinfiltrationsrate geschlossen werden.

Es konnte gezeigt werden, dass die Verläufe der Infiltrationsrate der DRI-Versuche mit den verschiedenen Simulationsvarianten in Hydrus-1D annähernd nachgebildet werden können (Abbildung 10). Tendenziell sind die simulierten Infiltrationsraten niedriger als die im Feld gemessenen. Die Güte der Ergebnisse unterscheidet sich je nach Simulationsvariante maßgeblich. Die höchste Modellgüte wird entweder mit der Simulationsvariante erreicht, bei der der Mualem-van Genuchten Parameter K_s an die im Feld gemessene Endinfiltrationsrate angepasst wird, oder mit der Variante, die zusätzlich zu dieser Anpassung die im Feld gemessene Bodenfeuchte als Anfangsbedingung berücksichtigt. Die Simulationsvariante, bei der die Eingangsparameter aus der BFD50 abgeleitet werden, ergibt deutlich geringere Endinfiltrationsraten als mit dem DRI und mit den anderen Simulationsvarianten bestimmt werden. Die Unterschiede zu den anderen Simulationsvarianten lassen sich auf die voneinander abweichenden Bodenparameterwerte zurückführen. Wie die Sensitivitätsanalyse zeigte, haben der Tonanteil und die Trockendichte einen maßgeblichen Einfluss auf die simulierte Endinfiltrationsrate. Aus den Bodenanalysen im Labor geht hervor, dass der Großteil der untersuchten Böden keinen Ton enthalten. Im Gegensatz dazu weisen die aus der BFD50 abgeleiteten Bodenarten höhere Tonanteile auf. Die Simulationsvariante BFD50 kann jedoch für eine erste grobe Abschätzung der Endinfiltrationsrate verwendet werden.

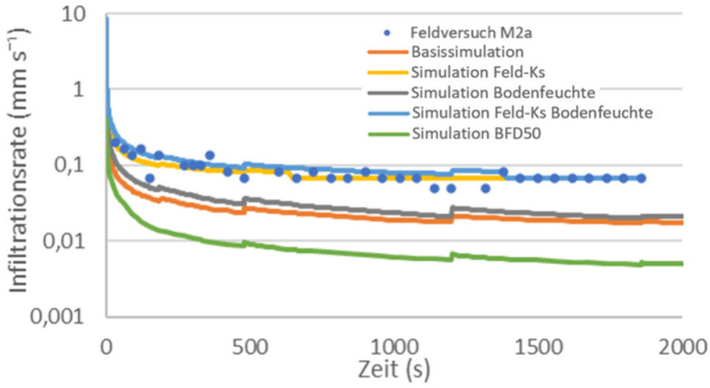


Abbildung 10: Verlauf der Infiltrationsraten über die Zeit der verschiedenen Simulationsvarianten des Versuchs M2a (eigene Darstellung)

Fazit

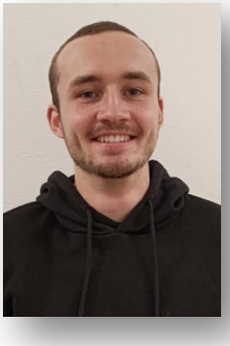
Es wurden im EZG Fischbach mit dem DRI hohe Endinfiltrationsraten ermittelt. Sowohl bei Wiederholungsmessungen an einem Standort als auch einer Standortgruppe konnte eine Variabilität der Endinfiltrationsrate festgestellt werden. Die Landnutzung sollte bei der Abschätzung der Infiltrationsrate berücksichtigt werden. Die Simulation mit Hydrus-1D konnte die Ergebnisse der Feldversuche annähern, unterschätzt die Infiltrationsrate jedoch tendenziell. Die höchste Modellgüte wird mit den Simulationsvarianten erreicht, bei denen die im Feld gemessene Endinfiltrationsrate oder zusätzlich dazu die Anfangsbodenfeuchte angepasst wird. Die größte Abweichung zu den DRI-Versuchen tritt bei der Simulationsvariante BFD50 auf. Ob sich diese zur Abschätzung der Infiltrationsrate eignet, ist von der Fragestellung abhängig.

Literatur

HLNUG (2017): BFD50: Gersprenz EZG. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie.

Šimůnek, J., Šejna, M. & van Genuchten, M. T. (2005-2008). Hydrus-1D (Version 4.17.0140). PC-Progress s. r. o.

Planung, 3D-Druck und Inbetriebnahme eines modularen Wehrüberfalls zur messtechnischen Erfassung und Darstellung von Druckverläufen



Bachelorthesis von Tobias Sontag
am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Um in der Lehre zum Thema Wehrüberfall einen Praxisbezug herzustellen, ist es das Ziel der Bachelorarbeit, einen 3D-gedruckten modularen Wehrkörper für die Praktikumsrinne im wasserbaulichen Forschungslabor anzufertigen. Entlang des Wehrrückens sollen mittels Piezometeranbohrungen und angeschlossenen Schlauchverbindungen hin zu einer Messharfe die Druckverläufe gemessen werden (Abbildung 11). Zusätzlich wird ein Arduino-Microcontroller inkl. Sensoreinheit für das Auslesen der Wasserstände in den Schläuchen der Messharfe auf Anwendbarkeit geprüft.

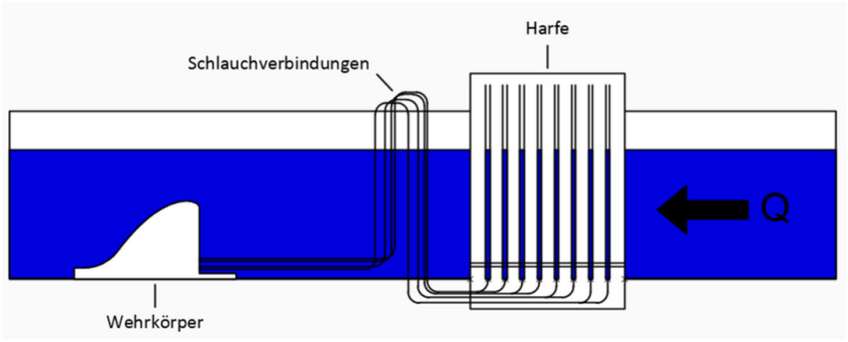


Abbildung 11: Versuchsaufbau

Datengrundlage und Methodik

Aufbauend auf einer Literaturrecherche zu den Möglichkeiten von 3D-Druckverfahren wurden zunächst einige Prototypen des Wehrbauteils gefertigt und anschließend deren Einsatzfähigkeit in der Laborrinne geprüft. Aus den Erkenntnissen konnte letztendlich dann mittels 3D-Druck ein gebrauchsfähiges Bauteil gefertigt und erfolgreich zur Durchführung der Messungen eingesetzt werden.

Ergebnisse

Versuche mit einem Arduino-Micocontroller und einem angeschlossenen Ultraschall-Abstands-Sensor (Typ HC-SRO4) führten zu dem Ergebnis, dass ein automatisches Auslesen der Druckhöhen in der Messharfe derzeit noch nicht zielführend ist. Grund hierfür sind zu große festgestellte Messungenauigkeiten des entwickelten Systems. Daher wurde das altbewährte Konzept verfolgt, die Druckhöhen an der Messharfe anhand der Wasserstände in den Schläuchen per Hand auszulesen.

Nach einer präzisen Berechnung eines hydraulisch optimalen Überfallprofils (sog. WES-Profil) musste ein 3D-Druckverfahren erstellt werden, mit dem sowohl die WES-Kontur als auch die inneren Strukturen des Wehrbauteils „gedruckt“ werden konnten. Dabei galt es zudem, die Piezometeranbohrungen als auch die zugehörigen im Inneren des Bauteils befindlichen Kanäle zur Druckübertragung so mit zu drucken, dass daran dann die Anschlussmöglichkeiten der Schläuche zur Messharfe gegeben sind (Abbildung 12).

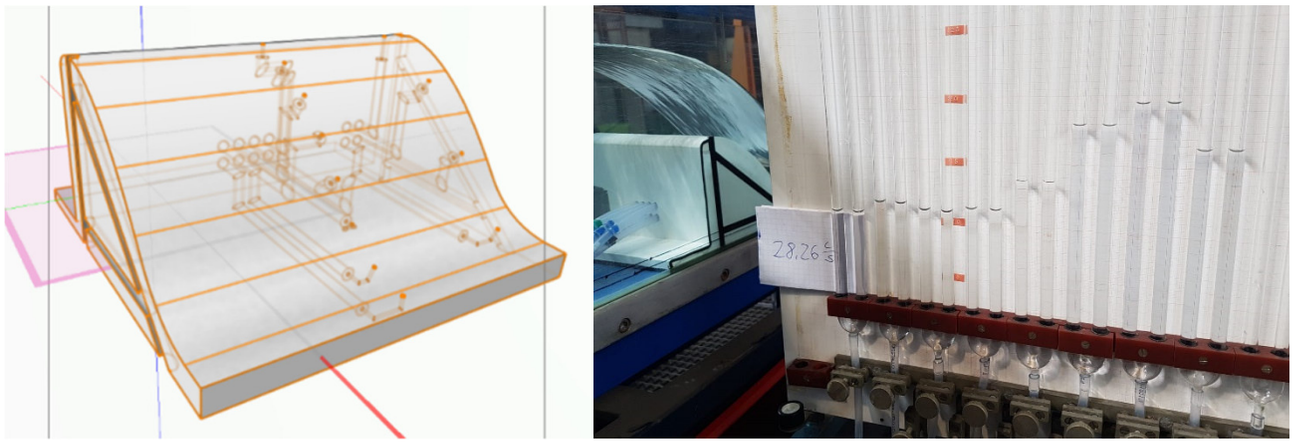


Abbildung 12: Wehrkörper Konstruktion + Inbetriebnahme

Die Auswertung der Drücke entlang des Wehrrückens bei unterschiedlichen Durchflüssen (Messung 1 = 6 l/s, Messung 2 = 15 l/s, Messung 3 = 28 l/s) zeichnen präzise die gemäß Fachliteratur erwarteten Muster (vgl. Abbildung 13). Bei dem Design zu Grunde gelegten Bemessungsabfluss von 15 l/s (Messung 2) ergibt sich erwartungsgemäß nahezu kein Druck entlang des Wehrrückens. Bei Durchflüssen von weniger als 15 l/s (Messung 1) stellen sich literaturkonform positive Drücke und bei höheren Abflüssen (Messung 3) negative Drücke bzw. ein Sog entlang des Wehrrückens ein.

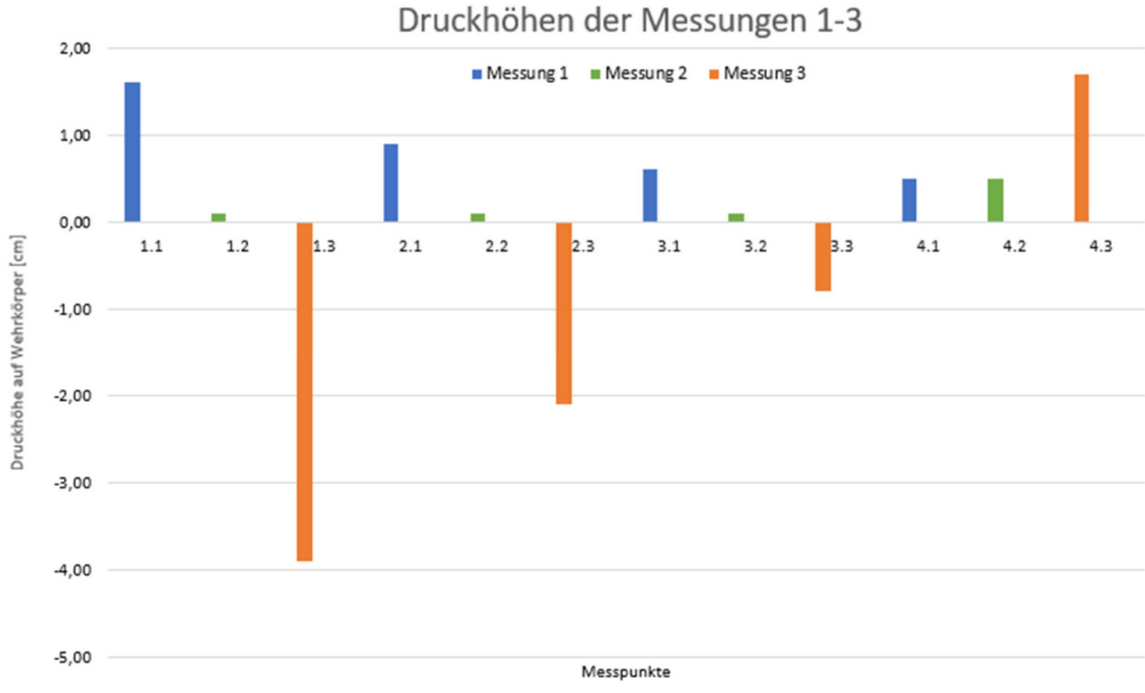


Abbildung 13: Druckverlauf auf WES-Profil

Fazit

Der bemessene und gedruckte Wehrkörper mit hydraulisch günstigem WES-Profil eignet sich hervorragend, um die Druckverläufe entlang des überströmten Wehrrückens und deren Abflussabhängigkeiten für Studierende anschaulich zu demonstrieren. Die in der Fachliteratur genannten Theorien bezüglich der Druckverläufe können im Versuch sehr gut dargestellt werden. Die angedachte Automatisierung der Druckmessungen mittels Sensor und Microcontroller konnte leider nicht erfolgreich ausentwickelt und eingesetzt werden, da die Messgenauigkeit des verwendeten Sensors als nicht ausreichend erkannt wurde.

Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten

Vergleich von gut und schlecht dränierten landwirtschaftlichen Feldparzellen

Bachelorthesis von Sinja Weiland
am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
in Kooperation mit dem Norwegischen Institut für Bioökonomieforschung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Während viele Regionen der Welt infolge des Klimawandels Probleme mit Dürre haben, sorgt auch ein Wasserüberschuss in der Landwirtschaft für Probleme z.B. durch Staunässe. Eine verbreitete Lösung hierfür ist landwirtschaftliche Dränage, welche den Grundwasserspiegel senkt und die Böden von Ackerland verbessert. Somit ist eine Untersuchung verschiedener Einflussfaktoren auf die Qualität der Dränage und des Bodenwasserregimes von Relevanz.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Situation in Norwegen betrachtet, wo durch den Klimawandel eine Zunahme des Niederschlags zu erwarten ist. Diese Arbeit zielt darauf ab, die Auswirkungen von (i) zukünftigen Klimabedingungen, (ii) Bodenverdichtung infolge von Bodenbewirtschaftung, und (iii) unterschiedlichem Dränage-Design auf das Wasserregime auf einer Feldskala zu untersuchen. Die Thesis ist in Kooperation mit dem norwegischen Institut für Bioökonomieforschung (NIBIO) entstanden und basiert auf Daten eines zuvor durchgeführten Feldversuches mit gut und schlecht dränierten Feldparzellen.

Datengrundlage und Methodik

Das OPTIKORN Projekt von NIBIO dient als Grundlage für diese Thesis. Im Rahmen des Projekts soll das Bodenwasserregime mit Monitoring und hydrologischen Modellen untersucht werden. Der hierfür betrachtete Feldversuch liegt in der Nähe von Trondheim (Zentralnorwegen, Abbildung 14) und weist einen lehmigen Untergrund auf, welcher während des Versuchs mit Gras bewachsen war. Das Monitoring des Versuchs beinhaltet kontinuierliche Messungen des Bodenwassergehalts des Bodenprofils (Abbildung 15), des Dränageausflusses und der bodenhydraulischen Parameter. Mit den gemessenen Daten wurde das hydrologische Modell SWAP (Soil Water Plant Atmosphere) aufgesetzt, kalibriert und validiert.

Abbildung 14: Feldexperiment in Norwegen

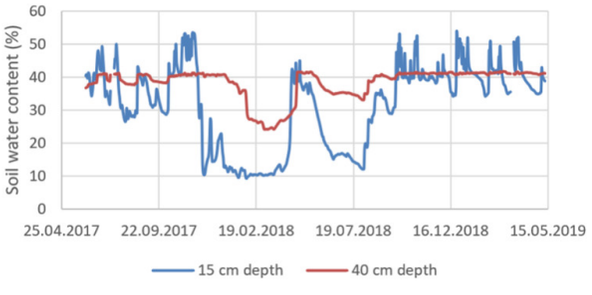


Abbildung 15: Plot Bodenwassergehalt

Auf Grundlage des kalibrierten Modells wurden verschiedene mittelfristige Klimaszenarien (RCP8.5) mit einer Dauer von 10 Jahren in der Zukunft (2046-2055) und der Vergangenheit (1996-2005) als Baseline verglichen. Diese Szenarien wurden anschließend mit Bodenbearbeitungsszenarien und Dränage-Design-Szenarien kombiniert. Bei ersterem ist in bodenschonende (Baseline) und konventionelle Bodenbearbeitung zu unterscheiden. Wobei es bei konventioneller Bodenbearbeitung zur (i) Oberbodenverdichtung und (ii) zur Unterbodenverdichtung kommt (durch Anpassung der bodenhydraulischen Parameter). Bei dem Dränage-Design wurde der Abstand zwischen den Dränagerohren von 8 m (Baseline) auf 6 m reduziert.

Ergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen signifikante Unterschiede im Bodenwasserhaushalt zwischen gut und schlecht entwässerten Parzellen. Zudem zeigt sich, dass die Klimaänderung und insbesondere die Veränderung der bodenhydraulischen Parameter infolge von Bodenbewirtschaftung einen starken Einfluss auf den Bodenwasserhaushalt haben. Das Szenario mit reduzierten Dränageabständen weist nur geringe Effekte auf.

Der Unterschied zwischen gut und schlecht entwässerten Parzellen ist in den Wasserhaushaltselementen sichtbar. Das schlecht entwässerte Feld zeigt einen erhöhten Oberflächenabfluss, Drainageabfluss und eine geringere Transpiration. Die verringerte Transpiration ist ein Indikator für Ertragsminderung aufgrund von Staunässe, während der höhere Drainageabfluss aufgrund von Unsicherheiten der Repräsentation des Dränageaufbaus im Modell zu erklären ist.

Ein Vergleich des 10-Jahres Zeitraum zeigt, dass zukünftige Klimabedingungen, die durch mehr Niederschlag geprägt sind, zu einem Anstieg des Oberflächenabflusses und des Drainageabflusses sowohl auf gut als auch auf schlecht dränierten Feldern führt.

Die Untersuchung der Auswirkungen von Bodenbewirtschaftungsmethoden zeigt, wie stark der Wasserhaushalt durch Bodenverdichtung beeinflusst wird. Da die Verdichtung des Oberbodens den Porenraum verringert, hat dies nachteilige Auswirkungen auf die Bodenstruktur. Dies führt zu einem stark erhöhten Oberflächenabfluss, einer Verringerung des Drainageabflusses und einer verringerten Transpiration (einhergehend mit Ertragsminderung). Der erhöhte Oberflächenabfluss führt zudem zu erhöhter Erosion und anderen negativen Auswirkungen auf die Umwelt, insbesondere in Kombination mit der Anzahl und Intensität der für die Zukunft vorhergesagten Starkregenereignisse. Die Verdichtung des Unterbodens zeigte die gleichen Trends wie das Szenario der Oberbodenverdichtung, mit einer moderateren Reaktion. Im Rahmen der Szenarioanalyse weist das gut entwässerte Feld stärkere Reaktionen auf, da das schlecht entwässerte Feld bereits unter höheren Stressbedingungen steht. Daher ist die relative Veränderung der Wasserhaushaltselemente auf dem gut entwässerten Feld größer, aber die absoluten Werte sind noch immer moderater im Vergleich zum schlecht entwässerten Feld.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Trends der Szenarien

	Oberflächenabfluss	Transpiration	Dränageausfluss
Oberbodenverdichtung	+ +	- -	- -
Unterbodenverdichtung	+	-	-
Dränagen Abstände	- (nur für schlecht drä-niert)	+ (nur für gut drä-niert)	Kein klarer Trend

Die Befahrbarkeit als praktischer Indikator zeigt, dass das gut entwässerte Feld häufiger und länger befahrbar ist als ein schlecht entwässerter Acker, da dieser häufiger gesättigt und möglicherweise staunass ist. Die Verdichtung des Unterbodens verringert die Befahrbarkeit weiter, da der Wassergehalt des Bodens das ganze Jahr über höher ist.

Fazit

Um die Ernährungssicherheit unter künftigen Klimabedingungen zu gewährleisten, sollte die Verdichtung des Bodens aufgrund konventioneller Bearbeitungsmethoden vermieden werden. Zudem kann durch fachgerecht installierte Dränagesysteme Staunässe verhindert und der Ernteertrag gesteigert werden. Szenarioanalysen, wie diese, können bei der Planung von Dränagen behilflich sein.

Es ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse dieser Arbeit durch Unsicherheiten, aufgrund des Modell- und Experimentaufbaus, nur begrenzt zu verallgemeinern sind. Jedoch geben die Ergebnisse Aufschluss über den Einfluss von Klima, Bodenbearbeitung und Dränage-Design für landwirtschaftliche Felder (mit lehmigem Boden), welche relevant für die Praxis sind.

Aus den Fachgebieten:

Wasserbau und Hydraulik (Leitung: Prof. Lehmann)

Lehre

Abschlussarbeiten

Im Jahr 2023 haben bis zum Stichtag zum 01.10.2023 mehr als 26 Studierende ihre Abschlussarbeit am Fachgebiet für Wasserbau und Hydraulik geschrieben. Folgende Themenstellungen wurden dabei erfolgreich bearbeitet:

Bachelorarbeiten

- Planung eines mobilen Pumpensystems mit drei Kreiselpumpen
- Eignung von Meerwasser zur thermischen Nutzung
- Niedrigwasser in deutschen Flüssen und dessen Folgen
- Umweltverträglichkeit von Kreuzfahrtschiffen: Sachstand, Entwicklungen und Empfehlungen
- Erarbeitung von geeigneten Standorten zur thermischen Nutzung von Meerwasser
- Konzeptentwicklung zum Einsatz von Wärmeübertragern im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt zu Kühlzwecken
- Eignung von Binnenhäfen zur hydrothermalen Nutzung
- Anfertigen einer Übung zur Planung, Bemessung und Konstruktion einer Sohlengleite in Setzsteinbauweise (Screencast)
- Planung und Inbetriebnahme eines modularen Druckleitungssystems zur messtechnischen Erfassung und Darstellung von Druckverläufen
- Erstellung von Kalibrierkurven anhand von kombinierten Fließgeschwindigkeits-Wasserstandmessungen
- Weiterentwicklung von Prüfmethodik und Qualitätssicherung des „Darmstädter Verfahrens“
- Aktualisierung einer deutschsprachigen Kompaktanleitung zum Programmsystem HEC-RAS
- Planung, 3D-Druck und Inbetriebnahme eines modularen Wehrüberfalls zur messtechnischen Erfassung und Darstellung von Druckverläufen
- Anfertigen einer Übung zur Planung, Bemessung und Konstruktion eines Raugerinne-Fischpasses mit Beckenstruktur (Screencast)

Masterarbeiten

- Sanierungskonzept auf Basis einer Netzbewertung des Flusswassernetzes im Industriepark Höchst
- Strömungstechnische Abbildung eines wasserbaulichen Versuchsstands über OpenFOAM nach Ansätzen des Forschungsdatenmanagements
- Hydraulische Modellierung zur Untersuchung von Renaturierungsmaßnahmen der Lahnaue zwischen Heuchelheim und Lahnau-Dorlar
- Numerische und physikalische Modellierung des Entlastungsbauwerks an der Wahnbachtalsperre zur Einbindung in die Lehre
- Erstellung einer Übungseinheit zur Anwendung von HEC-RAS 2D

- Handlungsanweisung zur Wasserausleitung für eine wärmeenergetische Nutzung von Fließgewässern
- Machbarkeitsstudie zur Nutzung der Werra-Wärme am Nadelwehr Hann. Münden
- Mehrwert des Einsatzes von 2D-HN-Modellen für die Gewässerentwicklungsplanung
- Kalibrierung und Validierung eines Wasserhaushalts- und Wärmemodells zur Simulation von Fließgewässertemperaturen
- Vergleich und Optimierung der Durchflussbestimmung einer teilüberstauten Acrylglasleitung
- Entwicklung eines Versuchsaufbaus mit Bemessungswerkzeugen zur Analyse von hydraulischen Vorgängen in Triebwasserwegesystemen

Wie in den Jahren zuvor auch werden die Abschlussarbeiten als wertvolle Verbindungen in das bestehende Netzwerk zu unseren Praxispartnern genutzt. An der Betreuung einiger Arbeiten waren im Jahr 2023 folgende Institutionen beteiligt:

- Industriepark Höchst – Infraserv
- Regierungspräsidium Gießen
- SYDRO Consult
- Brand-Gerdes-Sitzmann Wasserwirtschaft GmbH

Fachexkursion nach Bautzen, Dresden und Görlitz

Drunter und drüber ging es in der Woche vom 24. Bis 28. Juli 2023 für die 30 Teilnehmenden der diesjährigen wasserbaulichen und geodätischen Exkursion in die „Senfhauptstadt“ Bautzen/Budyšin.

Schon auf der Anreise erwarteten die Studierenden ungekannte Perspektiven, denn die in Revision befindliche **Kinzigtalsperre** durfte nicht nur begangen, sondern unter fachkundiger Anleitung durch Dr. Jelinek (Björnsen-Ingenieure) und Herrn Scheffler (Kinzigverband) auch von der nun trockenliegenden Wasserseite aus inspiziert und das Innenleben der Stauanlage erkundet werden.

Der zweite Exkursionstag führte die Gruppe unter Tage, wo sie durch die kundigen Guides des Besucherbergwerks **Marie Louise Stolln** mit einem beherzten “Glück auf“ begrüßt und auf die unbedingte Solidarität unter Tage eingeschworen wurde. Im Gewirr der engen Stollen bekamen wir einen sehr authentischen Eindruck über die damaligen unvorstellbar harten Arbeitsbedingungen zum Erzabbau.

Mit diesen Eindrücken reiste die von den Professoren Lehmann, Linke und Eichhorn begleitete Gruppe weiter in das **UNESCO-Biosphärenreservat Oberlausitzer Heide- und Teichlandschaft**. Dort wurden am Beispiel der durch die Karpfenzucht geprägten Landschaft Synergien und Konflikte von Bewirtschaftung und Naturschutz diskutiert. Abends gab eine Gruppe Studierender dann noch im Rahmen eines Spazierganges spannende Einblicke in die **Geschichte Bautzens** und der dortigen **Wasserkunst**.

Der akademische Austausch stand im Vordergrund, als es am Mittwoch in die Landeshauptstadt Dresden ging: Während an der **HTW Dresden** spannende Einblicke in die laufende geodätische Forschung gegeben wurden, kamen die Wasserbauer:innen bei der **Besichtigung der Wasserbauhalle der TU Dresden** auf ihre Kosten. Eine seitens der TU Dresden organisierte **Stadtführung durch die Dresdner Neustadt** bot neue Eindrücke zu drängenden Themen der Stadtentwicklung im Nexus von Innenentwicklung, Denkmalschutz und Gentrifizierungsdiskurs.

Hieran konnte die Exkursionsgruppe donnerstags anknüpfen, als Hartmut Wilke, Leiter des Amtes für Stadtentwicklung der **historischen Europastadt Görlitz**, interessante Einblicke in seine Arbeit gab und den interessierten Fragen der Exkursionsgruppe Rede und Antwort stand. Abenteuerlicher als erwartet gestaltete sich die anschließende Wanderung durch die regennasse **Sächsische Schweiz**, wo die Überwindung der „wilden Hölle“ manch eine:n über sich hinauswachsen ließ.

Gerade davon erholt, galt es am Abreisetag noch, im idyllischen thüringischen **Creuzburg** ein abgeschlossenes Flurbereinigungsverfahren zu besichtigen, das weithin als Best-Practice-Beispiel gilt und von den Mitarbeitenden der beteiligten Institutionen eindrücklich erörtert wurde. Damit war der wasserbaulich-geodätische Rundumschlag vollendet, und die Reisegruppe trat mit viel erworbenem Wissen im Gepäck die Heimreise an.

Ein **großes Dankeschön** geht von allen Beteiligten und den verantwortlichen Professoren an den Förderverein, der diese Exkursion mit 2000 EUR tatkräftig unterstützt hat, so dass die Eigenbeiträge der Studierenden damit spürbar entlastet werden konnten.

Promotionen

Am 16. Juni konnte Herr **Tim Huyeng**, M.Sc. vom Fachbereich Informatik im Bauwesen (Prof. Rüppel) in hervorragender Weise seine Forschungsarbeit zum Thema *Mobil-autarkes Monitoringsystem auf Basis von IoT und Open Data am Beispiel Hochwasser* verteidigen. Die Doktorarbeit wurde von Prof. Lehmann als Zweitbetreuer und Referent mit begleitet – unter anderem fanden dazu auch Versuche im wasserbaulichen Forschungslabor als auch im Überflutungsgebiet des Ahrtals statt.

Extreme Hochwasserereignisse führen besonders bei kleinen und mittleren Fließgewässern und steilen Einzugsgebieten zu enormen Schäden und hohen Gefahren für Leib und Leben der dort wohnhaften Menschen. Während sich die Hochwasserentstehung und -ausbreitung entlang der großen Ströme mit langen Vorlaufzeiten ankündigen, treten bei kleinen Gebieten solche Ereignisse meist in Verbindung mit sehr starken lokalen Niederschlägen auf, deren ortsgenaue Vorhersage und Wirkung in der zur Verfügung stehenden Zeit kaum bewerkstelligt werden kann. Daher besteht hier ein hoher Bedarf an Echtzeit-Monitoringdaten (bspw. Regenradardaten oder Pegeldaten zu Wasserständen), aus deren zeitlicher Entwicklung sich mit vorhandener Erfahrung relativ rasch eine Lageentwicklung abschätzen lässt. Im Katastrophenfall sind solche Monitoringdaten und deren situationsadäquate Interpretation die notwendige Bedingung für zielführende Evakuierungs- und Rettungseinsätze und somit im wahrsten Sinne des Wortes lebenswichtig.

Aufgrund der Tatsache, dass besonders bei kleinen Einzugsgebieten solch wichtige Messstellen nur dürftig vorhanden sind, ist ein modulares in-situ-System wünschenswert, welches „just in time“ vor Ort an neuralgischen Stellen installiert werden kann und in der Lage ist, ohne langwierigen technischen Aufwand über weite Distanzen die erfassten Messdaten zu Lagezentren zu transferieren, wo sie dann in geeigneter Form zusammengeführt, visualisiert und interpretiert werden können.

Herr Dr. Huyeng hat im Rahmen seiner Forschungsarbeit eben solch ein System hard- und softwaretechnisch entwickelt, in Labor- und Feldversuchen getestet und evaluiert. Seine Ergebnisse liefern einen hochinnovativen und für die Praxis absolut lohnenden Fortschritt für den operativen Hochwasserschutz.

Dr. Huyeng erreichte am 12.10.2023 auf dem StartUp & Innovation Day 2023 im Darmstadtium mit seiner Produktidee MOTARK den 3. Platz im TUDa-Innovationswettbewerb für wissenschaftlich Mitarbeitende. Seine Arbeit wird ab Sommer 2024 online abrufbar sein.

Am 5. Juli 2023 fand erfolgreich die Disputation im Rahmen des Promotionsverfahrens von Herrn Dipl.-Ing. (FH) **Gerhard Braun** statt. Dr. Braun ist als Dozent an der Hochschule für Technik und Wirtschaft des Saarlandes am Institut für physikalische Prozesstechnik tätig und hat nebenberuflich an der TU Darmstadt unter Betreuung von Prof. Lehmann promoviert. Im Rahmen seiner Forschungsarbeit konnte Dr. Braun eine neue *Methode zur Berechnung des Stauhöhenverlustes von Feinrechen* entwickeln, die mittlerweile sogar in neuen Regelwerken Einzug gehalten hat.

Feinrechen als wasserdurchlässige mechanische Barrieren werden im Wasserbau vielerorts zur Vorreinigung von Trieb-, Nutz-, Grau-, Brauch-, Prozess- und Kühlwasser eingesetzt. In der Regel bestehen Feinrechen aus parallel zueinander angeordneten Stäben mit vertikaler oder horizontaler Ausrichtung, die in einem stabilen Rahmen gehalten werden. Zwischen den Stäben befinden sich lichte Weiten, wodurch das ankommende Wasser abströmen kann, wohingegen Schmutzpartikel wegen ihrer Größe oder Länge an/zwischen den Stäben hängen bleiben. Zur Reinigung solcher Rechen kommen Maschinen zum Einsatz, die mit einem speziell an die Stäbe und Lücken angepassten Kämmen die Rechenfläche vom sog. angeschwemmten Rechengut durch Abschiebern befreien. Feinrechen zeichnen sich durch besonders kleine lichte Weiten zwischen den Stäben

und somit durch eine hohe Reinigungswirkung aus. Der Einsatz solcher Feinrechen ist bei Kläranlagen meist direkt im Bereich der Abwasserzuleitung vor dem Sandfang. Aber auch bei Wasserkraftanlagen kommen Feinrechen immer häufiger zum Einsatz, da sie als Fischschutz eine zuverlässige Barriere darstellen.

Jeder durchströmte Rechen stellt hydraulisch einen Formwiderstand dar – für seine Bemessung und hydraulische Wirkung im System ist daher die Kenntnis der am Rechen auftretenden Strömungsprozesse als auch der daraus resultierenden hydraulischen Verluste wichtig. In Folge davon treten beim Durchfließen des Rechens sog. Stauhöhenverluste auf, deren Betrag für die Auslegung der hinter den Rechen angeordneten Anlagenkomponenten eine wichtige Rolle spielt. Zur rechnerischen Bestimmung der Verluste existieren bislang diverse empirische Formelwerke, deren Beiwerte jedoch aus experimentellen Untersuchungen von Grobrechen stammen.

Herr Braun widmet sich der Frage, ob die bisher verfügbaren Ansätze zur Verlustermittlung auch für Feinrechen anwendbar sind und zu belastbaren Ergebnissen führen. Dabei zeigt er auf, dass dies nicht der Fall ist und entwickelt gestützt auf Ergebnissen aus selbst konzipierten und durchgeführten experimentellen und numerischen Modellen einen erweiterten neuartigen Berechnungsansatz, der speziell für Feinrechen mit vertikaler Stabausrichtung gilt.

Die Dissertationsschrift ist unter https://doi.org/10.26083/tuprints-00024262 abrufbar.

Frau **Katharina Bensing**, M.Sc. hat am 13.07.2023 in ausgezeichneter Weise ihre Dissertation mit dem Titel *Ethohydraulische Modellierung* verteidigt. Dr. Bensing arbeitet bereits seit 2016 als wissenschaftliche Mitarbeiterin am Fachgebiet und wird als PostDoc die Forschungen im Bereich Ethohydraulik weiter vorantreiben.

Die Ethohydraulik ist eine seit 2011 etablierte Forschungsmethode, welche transdisziplinär das Verhalten von Wasserlebewesen (vor allem Fische) unter diversen Umweltbedingungen untersucht. Ziel ethohydraulischer Forschungen ist es, konkrete Grenz- und Richtwerte als auch Planungs- und Bemessungsvorgaben zur Umsetzung umweltpolitisch anvisierter Ziele (bspw. Gewässerdurchgängigkeit in der EU-Wasserrahmenrichtlinie und dem deutschen Wasserhaushaltsgesetz) zu erarbeiten. Die Methode an sich basiert auf dem Durchlaufen einzelner Untersuchungsphasen, die sowohl im Feld- als auch im Laborversuch stattfinden können. Die Verschneidung ethologischer Erkenntnisse mit hydromechanischen Gegebenheiten stellt dabei einen Schwerpunkt und zugleich auch die eigentlich schwierige Schnittstelle zwischen der Biologie und der Ingenieurwissenschaft dar.

Katharina Bensing hat sich während ihrer Zeit als Wissenschaftlerin an der TU Darmstadt mit etlichen ethohydraulischen Studien beschäftigt, zahlreiche eigene Untersuchungen im Labor und Feld durchgeführt und darüber hinaus weltweit hervorragend mit anderen Wissenschaftler:innen zu dem Thema vernetzt. Ihre Erfahrungen und Erkenntnisse hat sie genutzt, um die Ethohydraulik methodisch weiterzuentwickeln: Sie liefert neue Empfehlungen für sog. hybride Versuchskonstellationen, bei denen gegenständliche Versuchssetups durch hydrodynamisch-numerische Modellierungen datenmäßig interpretiert und unterstützt werden. Darüber hinaus werden von ihr klare Empfehlungen für den Einsatz neuer Multiparametersonden gegeben, die wesentlich detaillierter als bisherige statisch-stationäre Geschwindigkeitsmessungen die Umweltwahrnehmung von Fischen erfassen. Hierzu liefert Frau Bensing zudem auch praxistaugliche Hinweise zur Analyse und ethohydraulischen Interpretation der mit der neuen Messtechnik erhobenen Daten. Zudem gibt Frau Bensing weiterführende methodische Empfehlungen zur sog. ethohydraulischen Modellierung im Sinne von Beschreibungsmethoden für hydraulische Strukturen oder der interdisziplinären Verzahnung der beteiligten Fachdisziplinen.

Die mit Auszeichnung bewertete Dissertationsschrift ist unter https://doi.org/10.26083/tuprints-00024347 abrufbar.

Am 19. Juli hat Herr **Tobias Lohrey**, Ms.Sc. erfolgreich seine Forschungen zum Thema *Modellgestützter Ansatz zur Effektivitätsprognose von Stauraumspülungen* vorgestellt und verteidigt. Dr. Lohrey war von 2018 bis zum Sommer 2023 am Fachgebiet als wissenschaftlicher Mitarbeiter beschäftigt.

Stauräume können ankommendes Wasser in Fließgewässern durch ein Querbauwerk gesteuert aufstauen und erfüllen damit wichtige wasserwirtschaftliche Aufgaben. Sie dienen der Trink- und Nutzwasserspeicherung, dem Hochwasserschutz, der Niedrigwasserregulierung als auch der Nutzung der Wasserkraft. Da das Flusswasser in der Regel stets auch Feststoffe aus dem Einzugsgebiet mit sich führt, kommt es innerhalb des Stauraumes aufgrund der dortigen geringen Strömungskräfte zu einer Sedimentation – langfristig führt das zu einer Verlandung des bewirtschaftbaren Stauraumvolumens und damit einhergehend zur einer Funktionseinschränkung der Anlage.

Daher sind Strategien, Methoden und Maßnahmen zur Verhinderung und/oder Verlangsamung der Stauraumverlandung als auch Methoden zur Stauraumentlandung ein wesentlicher Betriebsaspekt zur nachhaltigen Bewirtschaftung von Stauräumen. Je nach örtlichen Gegebenheiten können dazu unterschiedliche Methoden und Maßnahmen zum Einsatz kommen – die Abschätzung deren Wirksamkeit hängt von vielen Parametern ab und stellt in der Praxis eine große Unsicherheit dar.

Die Forschungsarbeit von Dr. Lohrey widmet sich dem Thema und stellt dabei mit Fokus auf die bewährte Methode der Stauraumspülung die Einsatzmöglichkeiten von 3D-HN-Mehrphasenmodellen (Wasserströmung und Feststoffbewegung) vor, um damit durch Simulationen die optimalen Spülungsparameter (Dauer, Intensität) für eine größtmögliche Wirksamkeit finden und anwenden zu können. Die Arbeit enthält dazu neben der Erläuterung der hydromorphologischen als auch der modellspezifischen Grundlagen viele Praxisempfehlungen zur Modellierung und zur praktischen Umsetzung.

Die Dissertationsschrift ist unter https://doi.org/10.26083/tuprints-00024383 abrufbar.

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

- Willis Awandu, M.Sc. – Developing an Integrated Energy – autonomous Water Treatment System for Developing Countries; Case study of Kenya rural areas
- Steve Borchardt, M.Sc. - Entwicklung und Anwendung eines Prüfverfahrens zur energetischen und hydraulischen Bewertung von Wärmetauscherelementen in Wasserkörpern
- 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)
- Andreas Müller, M.Sc. – Gewässerstrukturierung in urbanen Bereichen durch Lenkbuhnen (in Zusammenarbeit mit dem Karlsruher Institut für Technologie)
- Peter Wiker, Dipl.-Ing. – Multifeldrechensysteme zum Fischschutz bei großen Wasserkraftanlagen

Wasserbaulicher Modellversuch für das geplante Durchlassbauwerk am Hochwasserrückhaltebecken an der Alb bei Ettlingen

Timo Grafe, M.Sc.
Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Auftraggeber: Geschäftsstelle HWS Alb

Stadt Ettlingen
Stadtbauamt
Ottostraße 5
76275 Ettlingen

Stadt Karlsruhe
Tiefbauamt
Lammstraße 7
76133 Karlsruhe

Projektpartner: Weber-Ingenieure GmbH

Weber-Ingenieure GmbH
Colombistraße 17
79098 Freiburg
fr@weber-ing.de
www.weber-ing.de

Veranlassung und Projektvorhaben

Das in den 1980er Jahren umgesetzte Hochwasserschutzkonzept der Stadt Ettlingen soll im Zuge einer sich immer weiter durch den Klimawandel verschärfenden Risikolage an ein 100-jährliches Albhochwasser angepasst werden. Hierzu haben die beiden Städte Ettlingen und Karlsruhe ausgehend von einer umfangreichen Variantenstudie als Vorzugslösung ein Hochwasserrückhaltebecken (HRB) ausgewählt. Dieses soll mit einem maximalen Stauinhalt von 1,3 Mio. m³ oberhalb von Ettlingen am Standort Spinnerei entstehen.

Die Planungen des HRB sowie des darin integrierten Durchlassbauwerks wurden durch die WEBER-Ingenieure GmbH aus Freiburg vorgenommen. Die CAD-Zeichnung des in den Modellversuchen zu untersuchenden Bereichs des HRB wird in Abbildung 16 (links) gezeigt. Das Kernstück der Hochwasserschutzanlage bildet das dreizügige Durchlassbauwerk (Abbildung 16, rechts), dessen Hauptmaße und Kenndaten in Tabelle 2 aufgezeigt sind.

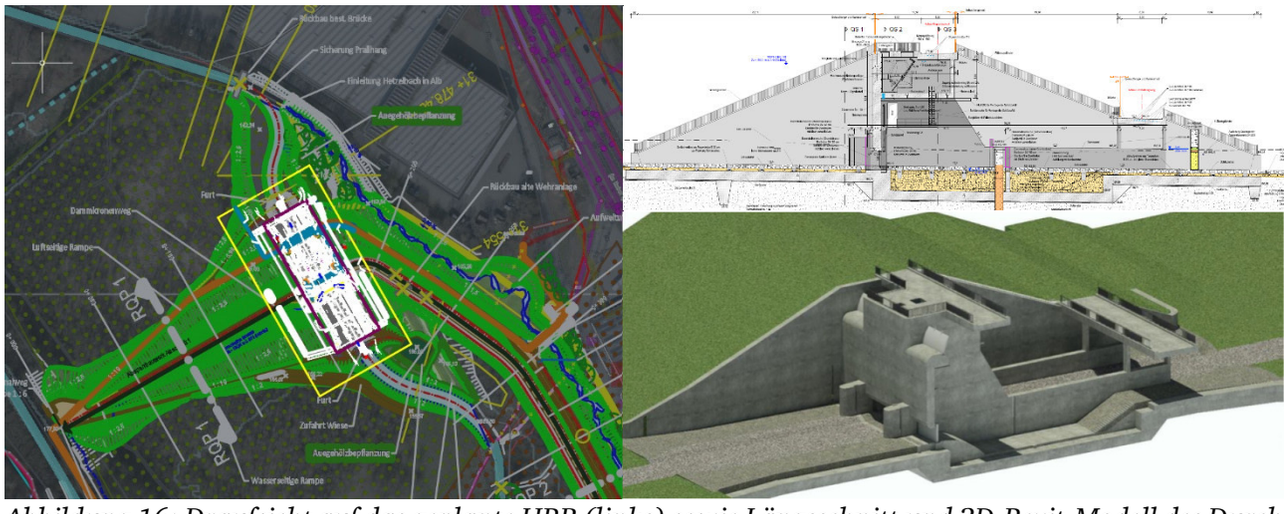


Abbildung 16: Draufsicht auf das geplante HRB (links) sowie Längsschnitt und 3D-Revit-Modell des Durchlassbauwerks (rechts) [Quelle: Weber Ingenieure GmbH]

Als Längenmaßstabszahl wird M_L = $Länge_{Natur}$ / $Länge_{Modell}$ = 25 gewählt. Hierdurch wird sichergestellt, dass die Modellkenngrößen entsprechend ausgelegt werden können, sodass die Ähnlichkeit hinsichtlich des Strömungsgeschehens an den Modellrändern als auch im Bereich des Durchlassbauwerks und in den angrenzenden Modellgebietsbereichen sichergestellt ist.

Tabelle 2: Kenndaten zum HRB mit Durchlassbauwerk sowie zu den hydraulischen Bedingungen

Komponente des HRB / Bauwerks	Realgröße	Modellgröße
Modellierter Bereich	63125 m²	101 m²
Länge Durchlassbauwerk	78,57 m	3143 mm
Breite Durchlassbauwerk	21,40 m	856 mm
Dammlänge inkl. Bauwerk	185,48 m	7419 mm
Dammkrone, Kote	177,00 m ü. NN	782 mm ü. NP
Stauziel HQ_{100}	175,91 m ü. NN	739 mm ü. NP
Hydraulische Daten	**Realgröße**	**Modellgröße**
Regelabfluss	50,20 m³/s	16,06 l/s
100-jährliches Hochwasser HQ_{100}	105,04 m³/s	33,61 l/s
Bemessungsabfluss $BHQ_{10.000}$	201,00 m³/s	64,32 l/s

Abbildung 17: Fortschritt des Modellbaus

In Abbildung 17 ist der Fortschritt des Modellaufbaus anhand einer zeitlich gereihten Bildsequenz wiedergegeben. Die Fertigstellung des Modellaufbaus und der Modellversuchsbeginn sollen noch im Jahr 2023 erfolgen.

Das wasserbauliche Modell wird in eine Umrandung, die durch Stahl- und Betonelemente sowie durch Mauersteine begrenzt ist, eingefügt. Es wird somit eine Standfläche von ca. 100 m² einnehmen. Die Geometrie der abzubildenden Wasserläufe und die angrenzende Topografie werden aus georeferenziert angeordneten Profilblechen vorbereitet. Durch Verfüllen der Zwischenräume mit Sand und dem Aufbringen einer Betondeckschicht wird das Gelände geometrisch ähnlich abgebildet. Das Durchlassbauwerk mit den verschiedenen Durchlässen wird als Modul aus üblichen Modellbaumaterialen wie PVC, Acrylglas, Holz und Metall hergestellt und nach Fertigstellung in das Gesamtmodell eingepasst.

Entwicklung eines modularen Wendelfischpasses – Laborstudien am realmaßstäblichen Modell

Steve Borchardt, M.Sc.

Projektförderer: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Projektpartner: Ingenieurbüro Bröggelhoff GmbH, SBI Siemke & Co. Brücken- und Ingenieurbau GmbH, IfOe Institut für angewandte Ökologie GmbH (FuE-Auftragnehmer)

Der kompakte und modular aufgebaute Wendelfischpass soll sowohl den Fischaufstieg als auch den Fischabstieg auf engstem Raum ermöglichen (vgl. Borchardt 2021). Um das Konzept als Ergänzung zum Stand der Technik zu untersuchen, wurde im wasserbaulichen Forschungslabor ein realmaßstäblicher Prototyp aufgebaut (vgl. Borchardt 2022). Im Sommer 2023 wurden neben hydraulischen Laborstudien gemeinsam mit Fischökologen ethohydraulische Studien zum Funktionsnachweis der Passierbarkeit durchgeführt.

Die Inbetriebnahme begann zunächst als gewendelte Schussrinne ohne Sohlensubstrat und strömungsmodulierenden Einbauten. Durch die Fliehkräfte quer zur Fließrichtung und einem Sohlgefälle von 5,6 % bildete sich ein schießender Abfluss mit einer Wasserspiegelauslenkung und niedrigen Wassertiefen aus. Zudem wurde mit zunehmender Fließstrecke eine Strömungsbeschleunigung und eine stärkere Wasserspiegelauslenkung beobachtet. Im nächsten Schritt wurde das Sohlensubstrat mit einem Korndurchmesser d_{90} von 189 mm, einer Rauheitshöhe k_3 von 52,4 mm und einer Porosität von 41,8 % eingebracht. Durch das Sohlensubstrat wanderte der Wasserkörper zur Innenkrümmung und die mittlere Wassertiefe verdoppelte sich nahezu auf 86 mm.

Für die ethohydraulischen Studien, die eine größere Wassertiefe und geringere Strömungsgeschwindigkeiten erforderten, wurden Trennwände im Abstand von 2,59 m installiert. Bei einem Durchfluss von 230 l/s ergaben ADV-Messungen in den Becken Strömungsgeschwindigkeiten von 0,1 bis 1,7 m/s. Die Beckenstruktur führte zu pulsierenden Strömungen, die an der Außenkrümmung Wasserspiegelschwankungen verursachte und durch weiterführende Untersuchungen zu minimieren ist.

Die Fischökologen installierten an den Trennwandschlitzen insgesamt drei HDX-Antennenpaare: zwei im Einstieg und jeweils ein Antennenpaar bei der halben Wanderdistanz sowie am Aufstiegsende. Als Versuchstiere wurden rithrale Arten der Äschenregion aus der Weil verwendet (Abbildung 18). Vor dem Besatz ins Unterbecken wurden die Fische mit einem Transponder besendert. Passierten die Fische beim Auf- oder Abstieg eine Antenne, wurde jeder Fisch individuell gelesen. Dies ermöglichte für jeden Fisch die Erfassung der Zeit vom Besatz bis zum Einschwimmen als Nachweis für die Auffindbarkeit, die Identifikation von Umkehrpunkten und die Messung der Passagedauer des Auf- und Abstiegs. Die Vorversuche fanden 24 Stunden sowohl bei Tageslicht als auch bei Dunkelheit ohne künstliche Beleuchtung statt. Während einige Arten wie die Bachforelle und die Hasel bereits während des Tageslichts unmittelbar nach dem Besatz aktiv waren, wanderten Arten wie der Döbel und die Schmerle erst mit Beginn der Dämmerung und in der Nacht. Als kleinster Fisch gelang einer 12,5 cm großen Hasel der Aufstieg. Für Fische mit einer Körperlänge von mehr als 15 cm wurde für den Aufstieg eine Passagerate von etwa 68 % festgestellt. Für den Aufstieg benötigten die Fische 3 bis 126 Minuten (Ø 23 Minuten). Sofern die Fische nicht trödelten, war der Abstieg in durchschnittlich 3 Minuten möglich. Für den zweiten Versuchsdurchgang wurden die Trennwände mit Haken modifiziert, die

oberstromseitig ausgerichtet waren (Abbildung 19). Somit sollten Querströmungen an den Schlitzen minimiert und eine Desorientierung während der Passage vermieden werden. Um den nachtaktiven Klein- und Jungfischen mehr Zeit zum Auf- und Abwandern zu geben, wurde die Versuchsdauer um eine zweite Nachtphase auf 36 Stunden verlängert.

Zusammenfassend waren die ethohydraulischen Studien, die sich am Tag-Nacht-Rhythmus der Versuchstiere orientierten, erfolgreich und wird für zukünftige ethohydraulische Laborstudien empfohlen. Die modulare Bauweise ermöglichte einen zügigen Modellaufbau und die Projektpartner sammelten Erfahrungen für die Konstruktion und Bautechnik von Ingenieurbauwerken aus Carbonbeton. Eine modifizierte Version des Wendelfischpasses soll nun an einem geeigneten Standort aufgebaut werden.

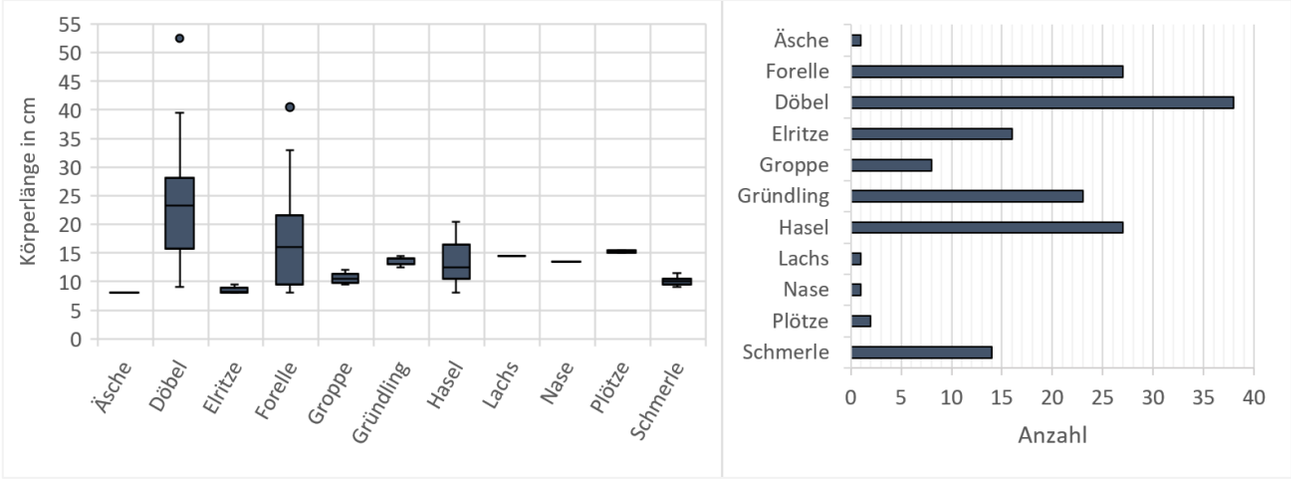


Abbildung 18: Körperlängen und Anzahl der eingesetzten Versuchstiere für beide Versuchsreihen

Abbildung 19: Blick auf den Modellaufbau mit modifizierten Trennwänden bei einem Abfluss von 225 l/s

Literatur

Borchardt, S. (2022): Entwicklung eines modularen Wendelfischpasses. WasserJahr 2021: 53-55.

Borchardt, S. (2023): Entwicklung eines modularen Wendelfischpasses – Aufbau des realmaßstäblichen Prototyps im wasserbaulichen Forschungslabor. WasserJahr 2022: 46-47.

Kooperationsprojekt: HEBER-FISCHPASS
Entwicklung einer modularen Fischwechselanlage nach dem Heberprinzip

Timo Grafe, M.Sc.
Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Projektförderer:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

Gefördert durch:
Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages
ZIM Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand

Projektpartner: Ingenieurbüro Bröggelhoff GmbH,
Gerd Hartmann Maschinen- und Metallbau GmbH

ib Planen und Beraten im Bauwesen
Gerd Hartmann GmbH Maschinen- und Metallbau

Veranlassung und Projektvorhaben

Durch die anthropogenen Nutzungsanforderungen und dem damit verbundenen Ausbau vieler Gewässer ist die Durchgängigkeit durch zahlreiche technische Querbauwerke unterbrochen. Diese stellen insbesondere für Fische eine unüberwindbare Wanderbarriere dar, was zu einer Einschränkung des Lebensraums und damit zu einer verringerten Fortpflanzungsrate führt. Die freie Passierbarkeit der Gewässer ist damit zur Ausbreitung der Arten und zur Herstellung eines guten ökologischen Zustands der Flüsse und Seen elementar. Um dieses Ziel aus der europäischen Wasserrahmenrichtlinie zu erreichen, sind alleine in Deutschland an circa 5000 Fließgewässern Maßnahmen zur Erhöhung der Fischpassierbarkeit zu ergreifen. Ein Großteil der darin bestehenden Querbauwerke sind kleine Anlagen, häufig in Kombination mit einer Kleinstwasserkraftanlage. An derartigen Anlagen sind Lösungen für Fischaufstiegsanlagen nach dem derzeitigen Stand der Technik aufgrund ihres hohen konstruktiven Aufwands häufig nicht wirtschaftlich umzusetzen. Eine zusätzliche hydraulische Einschränkung stellt die für die Fischaufstiegsanlage begrenzt zur Verfügung stehende Durchflussmenge an Kleinstwasserkraftanlagen dar.

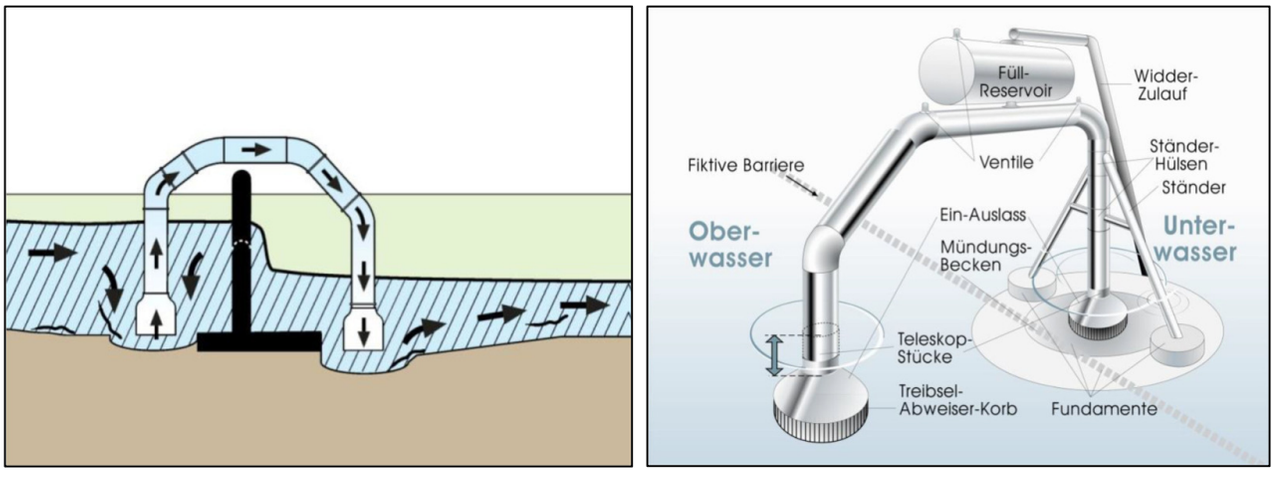


Abbildung 20: Seitenansicht Heber-Fischpass und Skizze Systemdarstellung

Der im Rahmen des Kooperationsprojekts zu entwickelnde Heber-Fischpass bietet mit seinem geringen konstruktiven Aufwand gepaart mit seiner Kompaktheit eine neue Lösung für Fischaufstiegs- und -abstiegsanlagen auf engstem Raum (Abbildung 20). Bei diesem nach dem hydraulischen Heberprinzip konzipierten Fischpass sollen mittels modularer Rohrsegmente kleinere Querbauwerke überwunden werden. Die Rohrleitung fungiert dabei als hydraulische Heberanlage, die so bemessen ist, dass Fische

in beide Richtungen die Rohrleitungen unbeschadet durchschwimmen können. Dazu muss einerseits im Rohrsystem ein entsprechender Unterdruck vorhanden sein, um den Saugeffekt in Gang zu halten. Anderseits sollen jedoch der Durchfluss und die Fließgeschwindigkeiten derart gering sein, dass auf- und abwanderwillige Organismen des Makrozoobenthos und Fische die Heberleitung als Passagekorridor nutzen können.

Ein innovativer Aspekt des Heber-Fischpasses ist die Energieautarkie des Systems. Die Fließgeschwindigkeit soll mittels Luftdotierung geregelt werden. Im Falle eines Abreißens des Heberdurchflusses soll sich der Heber-Fischpass eigenständig über ein Reservoir am Scheitel (siehe Abbildung 20) befüllen und wieder anspringen. Dazu dienen mit Schwimmkörpern versehene Verschlussorgane, welche sich alleine aufgrund der veränderten Druckbedingungen in der Leitung schließen bzw. öffnen. Das Reservoir wird ebenfalls ohne Fremdenergie mittels eines hydraulischen Widders wieder aufgefüllt.

Kleinmaßstäbliches Labormodell im Wasserbaulichen Forschungslabor

Ziel des Forschungsprojekts ist die Entwicklung und Inbetriebnahme eines Prototyps im Wasserbaulichen Forschungslabor. Aus den zuvor beschriebenen Anforderungen an den Heber-Fischpass ergibt sich eine Vielzahl wasserbaulicher und regelungstechnischer Fragestellungen. Dazu zählen insbesondere der Vorgang zur automatischen Befüllung der Heberleitung und die Luftdotierung zur Regulierung der Fließgeschwindigkeit. Diese Funktionsweisen erfordern jeweils technische Einzellösungen, sodass zunächst Erfahrungen über die hydraulischen Bedingungen gesammelt werden müssen.

Abbildung 21: Kleinmaßstäbliches Labormodell im WBFL

Die wesentlichen Eigenschaften der Heberleitung und die maßgebenden Betriebszustände werden gegenwärtig anhand von Vorversuchen an einem physikalischen Modell (Abbildung 21) im Wasserbaulichen Forschungslabor untersucht, um mögliche technische Lösungen für die Schlüsselprozesse zu entwickeln und testen. Aus den gewonnenen Erkenntnissen sollen frühzeitig Rückschlüsse auf die Konstruktion des Prototyps und die daran angeschlossene Messtechnik gezogen werden.

Ausblick auf den weiteren Projektverlauf

Im weiteren Verlauf werden die Komponenten der Heberleitung weiterentwickelt und optimiert, sodass in einem zusätzlichen Labormodell weitere Aspekte des Heber-Fischpasses untersucht werden können. Dazu gehört insbesondere die Erarbeitung einer optimierten Wandbeschaffenheit durch den Einsatz von Einbauten in der Heberleitung. In der finalen Projektphase wird ein **realmaßstäbliches Labormodell** konzipiert und aufgebaut, an dem, unter anderem, Lebendfischversuche vorgesehen sind.

Ethohydraulische Modellierung

Dr.-Ing. Katharina Bensing

Während ihrer langen Wanderung zwischen verschiedenen Habitaten (Nahrungs-, Laich-, Überwinterungshabitat) navigieren Fische anhand verschiedenster sensorischer Reize aus der Umwelt, dem in ihrem genetischen Code hinterlegten Informationen sowie neu erlerntem Wissen. Die zurückgelegten Strecken reichen von wenigen bis hin zu tausenden von Kilometern – innerhalb oder sogar zwischen Süß- und Salzwasser. Für diese beeindruckende Orientierungsleistung stellen die komplexen Sinnessysteme und deren multimodale Verknüpfung folglich essentielle Bausteine dar. Als Schnittstellen zwischen Fisch und Strömung (siehe Abbildung 22), bzw. als Rezeptoren für physikalisch adäquate Reize, sind die sensorischen Systeme der Startpunkt für Signalfolgen die über Nervenbahnen ans Gehirn geleitet werden. Dort werden die ankommenden Signale decodiert, um daraus relevante Informationen zu extrahieren. Durch eine Verrechnung mit dem „inneren Zustand“ der Tiere, kann dann auf einen biologisch adäquaten Reiz eine Reaktion, z.B. konkret eine Orientierungsreaktion, erfolgen.

Leider wird die Wanderung der aquatischen Lebewesen zunehmend durch den anthropogenen Eingriff in Fließgewässer erschwert. Der intensive Verbau und die Umgestaltung von Gewässerläufen zerstückeln natürliche Wanderkorridore, sodass in Deutschland nach Belletti et al. (2020) durchschnittlich mehr als zwei Bauwerke auf einen Flusskilometer kommen. Durch spezielle bauliche Anlagen in Form einer Art Umleitung wird aktuell versucht die Durchgängigkeit wiederherzustellen.

Um solche Anlagen jedoch für die aquatische Fauna (hier mit Fokus auf Fische) durch hydraulische Wegweiser effektiv besser auffindbar und passierbar zu gestalten, ist ein tiefgreifendes Verständnis für sowohl die Sinneswahrnehmung und das Verhalten der Tiere als auch die Eigenschaften der turbulenten Strömung und nicht zuletzt deren Verknüpfung von großer Bedeutung. Eine Basis dazu soll der umfangreiche Grundlagenteil meiner Dissertation liefern, der auch eine wichtige Säule der Arbeit darstellt (siehe Bensing 2023).

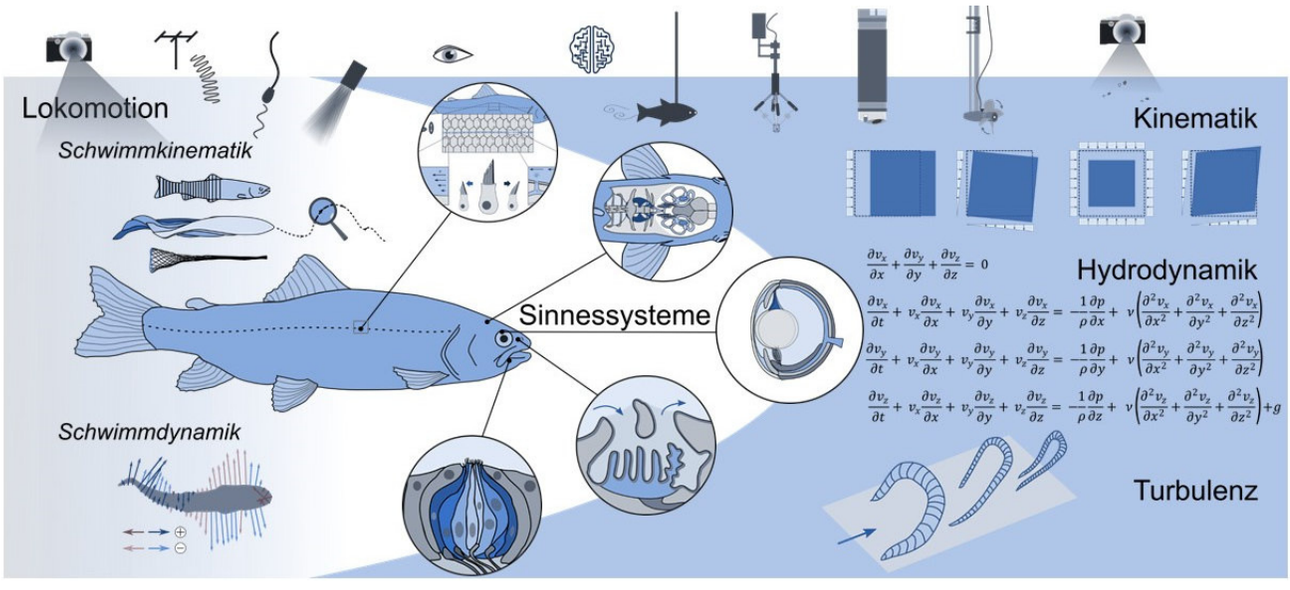


Abbildung 22: Die Verknüpfung von Ethologie, Strömungsmechanik und angrenzender Fachgebiete sowie verschiedener Analysemethoden (oben) zur Anwendung in der ethohydraulischen Modellierung

Unter „Ethohydraulischer Modellierung“ wird im Rahmen der Arbeit allgemein die Nutzung physikalischer und numerischer Modelle sowie interdisziplinärer Methoden zum Verständnis komplexer kausaler Zusammenhänge bei der Interaktion von Strömung und aquatischem Lebewesen verstanden. Diese Modelle decken wiederum verschiedene Skalen von neuroethologischen Untersuchungen über kleinräumige schwimmkinematische Betrachtungen der Körperbewegung bis hin zu langen Wanderrouten entlang unserer Binnengewässer ab.

Zur Erarbeitung von Empfehlungen für die ethohydraulische Modellierung und deren Weiterentwicklung wurden die Daten aus dem DBU-geförderten Projekt „MeMo Fischabstieg“ verwendet, welches bereits in den vorhergehenden Wasserjahren beschrieben wurde. Im Fokus stand dabei der Einsatz einer neuartigen, an der TalTech entwickelten, fischförmigen Messsonde – der Fischsinnessonde (FSS) –, welche unter anderem mit drei im Kopfbereich platzierten Drucksensoren das Seitenlinienorgan von Fischen nachahmt. Auf Basis verschiedener Messungen mit der FSS und einem Acoustic-Doppler-Velocimeter (ADV), Lebendtierversuchen im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt sowie hydrodynamisch-numerischer Simulationen konnten Hypothesen zur Strömungswahrnehmung mit dem Seitenlinienorgan aufgestellt, neue Konzepte entwickelt und weiterer Forschungsbedarf identifiziert werden. Einige Aspekte sind im Folgenden genannt:

- Aus Korrelationsanalysen zwischen den FSS-Druckdaten und den ADV-Geschwindigkeitsdaten konnte der konvektive Wirbeltransport dargelegt und die Relevanz der senkrecht auf den Fischkörper wirkenden Geschwindigkeitskomponente für die Kanalneuromasten der Seitenlinie hervorgehoben werden.
- Zukünftig sollte eine Unterscheidung zwischen informationsbasierten und leistungsbasierten Parametern vorgenommen werden – vorrangig bezüglich turbulenter Strömungsgrößen.
- Gradienten spielen in der Biologie eine große Rolle und sollten sowohl im Zusammenhang mit dem Verhalten als auch dem verhaltensauslösenden hydraulischen Reiz stärker berücksichtigt werden (ethohydraulisches Gradientenkonzept).
- Selbst feine Strukturen können bereits einen großen Effekt auf das Wanderverhalten ausüben, was anhand des Fischverhaltens an den Stützstrukturen des Rechens während der Lebendtierversuche gezeigt wurde und durch die bilateralen Druckgradienten der FSS-Messung hydraulisch erfassbar war. Hier können zukünftig weitere Untersuchungen zur möglichen hydrodynamischen Bildgebung basierend auf dem Druckgradientenfeld durchgeführt werden.

Die Dissertationsschrift umfasst darüber hinaus Empfehlungen zur Optimierung der FSS. Es ist von grundlegender Bedeutung, die Weiterentwicklung ethohydraulischer Messtechnik voranzutreiben, die sowohl bioinspirierte als auch Fisch-Tracking-Systeme einschließt. Nur auf diese Weise lässt sich die Wahrnehmung von Reizen durch die sensorischen Sinnessysteme einerseits und das resultierende Verhalten der Tiere andererseits ansatzweise nachvollziehen.

Darauf aufbauend ist eine systematische Grundlagenforschung dringend erforderlich, um mittels ethohydraulischer Modellierung kausale Reiz-Reaktions-Mechanismen zu extrahieren. Die gewonnenen Erkenntnisse könnten möglicherweise in Zukunft auch in computergestützten Modellen Anwendung finden. Hierfür wird die Umsetzung eines Reaktionsraummodells (RRM) vorgeschlagen. Auch kann die Anwendung von künstlicher Intelligenz in diesem Zusammenhang einen wichtigen Stellenwert einnehmen.

Des Weiteren werden in der Dissertation zahlreiche Verhaltensweisen, die in fischökologischen Untersuchungen analysiert wurden und für die Ethohydraulik relevant sind, zusammengetragen. Diese sollen einen ersten Ansatz zur Vereinheitlichung der Terminologie darstellen. Ein Mangel an einheitlichen Definitionen von Begriffen, Parametern und Verfahren ist in verschiedenen ethohydraulischen Fachrichtungen festzustellen. Daher ist eine Standardisierung grundlegend wichtig, um eine Vergleichbarkeit verschiedener Studien und ein einheitliches Verständnis der Thematik zu ermöglichen.

Weitere Aspekte und weiterführende Informationen sind in meiner Dissertation unter unten angegebenem Link zu finden.

Literatur

Belletti, B., Garcia de Leaniz, C., Jones, J. et al. (2020): More than one million barriers fragment Europe's rivers. Nature 588 (7838): 436–441. https://doi.org/10.1038/s41586-020-3005-2.

Bensing, K. (2023): Ethohydraulische Modellierung. Dissertation, Technische Universität Darmstadt. https://doi.org/10.26083/tuprints-00024347

Machbarkeitsstudie zur Errichtung einer Hydrothermie-Anlage an den Standorten Wasserwerk Wehrda und Softwarecenter der Stadtwerke Marburg

Jessika Gappisch, M.Sc.

Auftraggeber: Stadtwerke Marburg

Beschreibung des Projektvorhabens

Die Stadtwerke Marburg bieten über ihre Nah- und Fernwärmenetze die Versorgung der Marburger Haushalte mit Wärme an. Da sie an einer verstärkten Nutzung von erneuerbarer Wärme interessiert sind, sollte das hydrothermale Potential der Lahn in Marburg ermittelt und die Umsetzung der Wärmenutzung auf einzelne Standorte untersucht werden. Im vergangenen WasserJahr wurde das analysierte Wärmepotential der Lahn vorgestellt, dass die Grundlage für eine Betrachtung konkreter Standorte bildet. Zudem wurden potenzielle Wärmeentnahme-Bereiche am Standort Wasserwerk Wehrda ermittelt und bewertet. In den weiteren Schritten war nun zu prüfen, inwieweit das Wasserwerk Wehrda das zur Trinkwasserversorgung entnommene Grundwasser wärmetechnisch nutzen und inwieweit am Softwarecenter Lahnwärme in das hiesige Wärmenetz eingespeist werden kann.

Hydrothermale Versorgung am Wasserwerk Wehrda durch die Trinkwasserbereitung

Das Wasserwerk Wehrda dient der Aufbereitung und Bereitstellung von Trinkwasser und fördert dafür Rohwasser aus dem Aquifer. Da die Infrastruktur zur Entnahme von Grundwasser als Voraussetzung für eine wärmetechnische Nutzung bereits besteht, bietet sich eine hydrothermale Nutzung des Grundwassers an. Die Temperaturen des am Wasserwerk Wehrda geförderten Grundwassers folgen einem sinusähnlichen Jahresgang und schwanken um t_G = 12,1 °C ± 2 °C. Der Jahresgang des Grundwassers ist zum Jahresgang der Luft und der Lahn um etwa einen Monat zeitlich verzögert. Der Wärmestrom von der Umgebung in den oberflächennahen Boden wirkt sich zeitlich verzögert mit einer Phasenverschiebung von etwa einem halben Jahr pro 10 m Tiefe aus (Pape 2008). Durch die geringe Verzögerung von einem Monat und dem ausgeprägten Jahresgang liegt der Grundwasserkörper wahrscheinlich nur wenige Meter unter der Geländeoberkante. Nach einer Studie des HLNUG (ebd.) zu den Messdaten der hessischen Grundwasser-Messstationen liegen die mittleren Grundwassertemperaturen insgesamt bei 7 bis 14 °C. Für Marburg werden kartographisch Temperaturen zwischen 11 und 14 °C in < 50 m Tiefe dargestellt, was sich mit dem Median $t_{G;0,5}$ = 12,1 °C der Messwerte am Wasserwerk Wehrda deckt. Weiterhin wurden umliegende Grundwasser-Messstellen zur Einordnung einbezogen: Im Umkreis von 10 km um Wehrda werden an drei Messstellen Grundwassertemperaturen durch den Landesgrundwasserdienst erfasst. Die Messdaten sind in Abbildung 23 (links) aufgetragen, und ihre Mediane werden denen des Standorts Wasserwerk Wehrda in einer Karte gegenüberstellt (rechts).

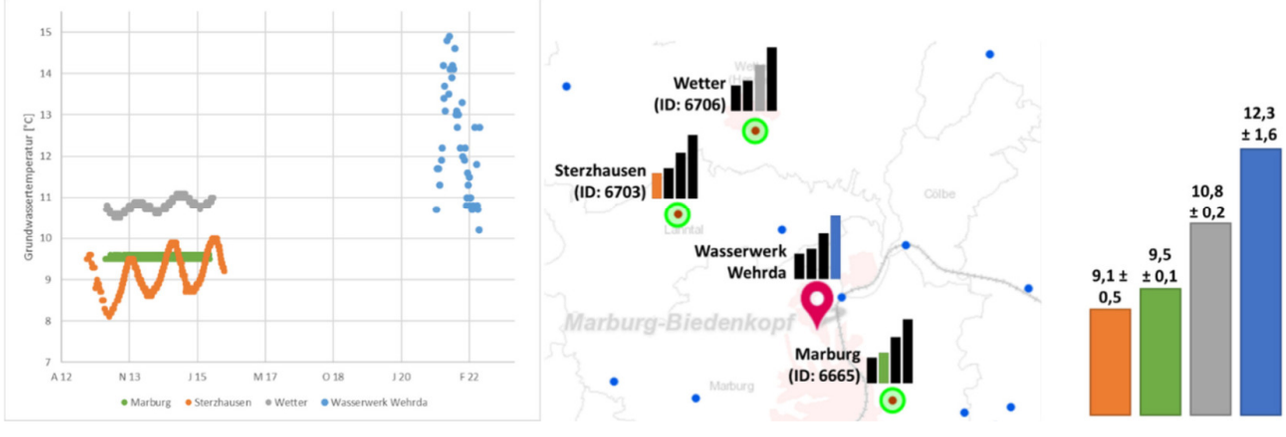


Abbildung 23: Grundwassertemperaturen am Wasserwerk Wehrda und den umliegenden Messstationen (links) und Median-Werte der Grundwassertemperaturen für den Referenzzeitraum (rechts) [Messdaten am Wasserwerk Wehrda bereitgestellt von den Stadtwerken Marburg]

Der Median der Messwerte am Wasserwerk Wehrda weist den höchsten Wert auf. Er liegt 1,5 K über dem Median in Wetter und 3,2 K über dem in Sterzhausen. Die Grundwassertemperaturen am Wasserwerk Wehrda scheinen gegenüber den angrenzenden Messstationen erhöht. Neben Klimaveränderungen und urbanen Einflüssen können auch stationstypische Faktoren (z.B. Entnahmetiefe) die gemessene Grundwassertemperatur beeinflussen (Schartner und Kralik 2011). Zur Ermittlung der potenziellen Wärmeentnahmeleistungen werden folgende Annahmen getroffen: 6 K maximale Temperaturdifferenz (VDI 4640/4), 5 °C Mindesttemperatur des genutzten Wassers (LAWA 1980), Berücksichtigung der direkten sowie der indirekten Wärmeentnahme (1 K Wärmeverlust). Damit ergeben sich szenariospezifisch Entnahmeleistungen von 1,5 bis 4,5 MW. Die Stadtwerke Marburg verfolgen diesen Ansatz nun im „Darmstadt-Marburg-Modell“.

Hydrothermale Versorgung des Wärmenetzes Softwarecenter

Zur Einspeisung von Lahnwärme in das Wärmenetz Softwarecenter war jeweils ein Areal im Lohmühlgraben und im Mutterbett unterhalb des Grüner Wehrs zu prüfen (Abbildung 24). Das Areal 1 hat den Vorteil, dass der ohnehin anthropogen geprägte Mühlkanal genutzt wird, während das Areal 2 im Mutterbett eine größere Wassertiefe und eine geringere Wassertrübung aufweist, ggf. aber verstärkt Gewässernutzungen Dritter (z.B. Fischerei, Gewässerunterhaltung) berücksichtigt werden müssen. Aufgrund geringer Fließgeschwindigkeiten, einem hohem Organikanteil sowie geringen Wassertiefen im Gewässer empfiehlt sich eine Wasserentnahme. Es ist zu erwarten, dass eine regelmäßige Reinigung des Wasserentnahmesystems notwendig ist und im Lohmühlgraben wahrscheinlich häufiger erforderlich als im Mutterbett. Durch die geringen Wassertemperaturen der Lahn im Winter ist eine Systemtrennung mittels Zwischenwärmeübertrager vor der Wärmepumpe zu empfehlen. Als Herausforderung in beiden Arealen gilt insbesondere die geringe Wassertiefe. Nach DIN 14210 ist für eine Saugentnahme eine Mindestwassertiefe von 1,125 m erforderlich, die in beiden Arealen nicht durchweg gewährleistet wird. Entsprechende Lösungsvorschläge wurden erarbeitet. Zudem wurde der Einfluss der Bodentemperaturen auf den Wärmeein- und -austrag in den Transportleitungen vom Entnahmeareal zur Anschlussstelle im Gebäude aufgezeigt und der hydrothermale Deckungsanteil ermittelt.

Abbildung 24: Hinsichtlich einer Wärmeentnahme zu prüfende Areale unterhalb des Grüner Wehrs

Verwendete Literatur:

DIN 14210 (2019): Künstlich angelegte Löschwasserteiche.

LAWA (Hg.) (1980): Grundlagen zur Beurteilung des Einsatzes von Wärmepumpen aus wasserwirtschaftlicher Sicht. Länderarbeitsgemeinschaft Wasser.

Pape, W.-P. (2008): Temperatur des Grundwassers. Jahresbericht. Hg. v. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG).

Schartner, C. & Kralik, M. (2011): Trends der Grundwassertemperatur. Untersuchungen von Daten der Überwachung des Gewässerzustandes in Österreich. Hg. v. Umweltbundesamt Österreich. Wien.

VDI 4640/4 (2004): Thermische Nutzung des Untergrundes. Direkte Nutzungen.

Experimental performance comparison of diffuser and nozzle shrouded hydrokinetic turbine for harnessing energy by utilizing low flow velocities in rivers

Willis Awandu, M.Sc.

Background Information

DAWAKO newsletter 2022 reported the works carried out by Dr. Robin Ruff on the development of a mobile and cost-effective micro hydropower converters that can be used for harnessing kinetic energy of flowing rivers in off-grid regions in the emerging and developing nations (Ruff, 2022). Enclosing the hydrokinetic turbines in a suitably designed shroud or duct can enhance the total captured energy as it increases the flow velocity passing through the turbine. Additionally, the shroud helps the turbine to self-start at lower flow speeds (Anbarsooz et al., 2020).

Development of diffuser shroud

Two diffusers (diffuser_type1 and diffuser_type2) were developed in the shape of a cone in the laboratory. Diffuser_type1 was tested as a diffuser and then reversed and used as a nozzle (here labelled as Nozzle 2). The diffuser_type2 was only used as a nozzle (Nozzle 3) since the performance of diffuser_type1 was found to be low compared to when used as a nozzle.

Results and discussion

The performances of the nozzle and diffuser were compared and it was found that even though use of diffusers have improved the performance of the hydrokinetic turbines, the performance of nozzle was better compared to the use of diffuser. In this experiment, a combination of longer nozzle and shorter diffuser performed far better than using a nozzle alone. The combination provided both improvement in performance as well as anchorage space for the turbine. The experimental results (Abbildung 25 - Abbildung 27) for the nozzle 1, nozzle 2 and diffuser_type1 are presented below.

The comparative performance (Abbildung 28) for the nozzle 1, nozzle 2 and diffuser_type1 are graphically illustrated below. It can be seen that nozzle 2, which comprised of a combination of a nozzle (main shroud) and a short diffuser connector had the best performance. The good performance of the nozzle is attributed to the fact that the decrease in cross-sectional area has a corresponding decrease in pressure and thus enhanced flow velocity at the nozzle exit (in this case the nozzle throat).

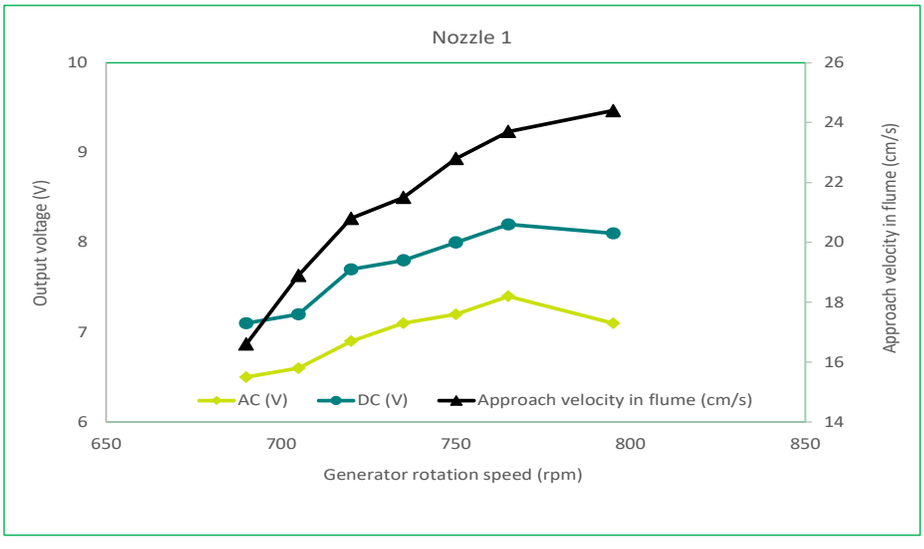


Abbildung 25: Output for Nozzle 1 in load condition

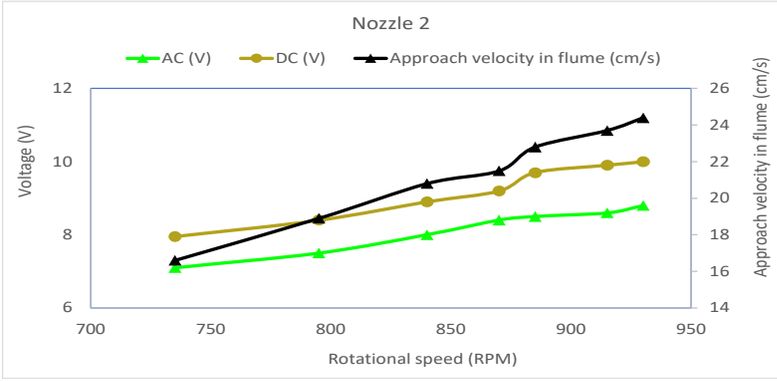


Abbildung 26: Output for nozzle 2 in load condition

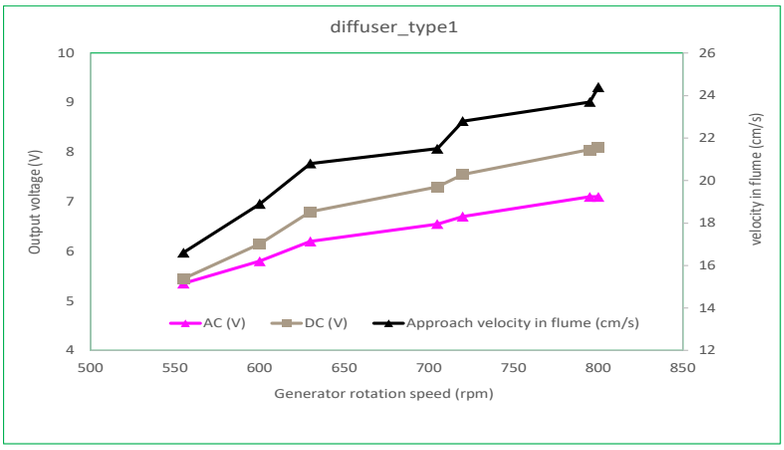


Abbildung 27: Output for diffuser_type1 load condition

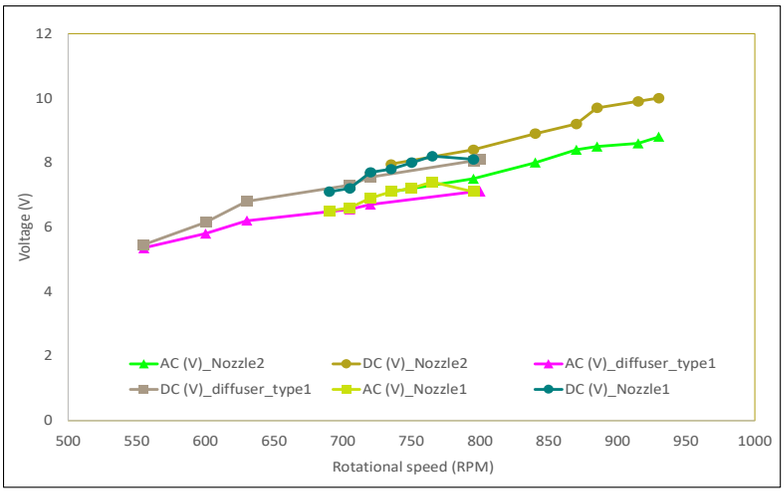


Abbildung 28: Perfomance comparison of nozzle 1; nozzle 2 and diffuser_type1 in load condition

References

Anbarsooz, M., Mazloum, M., and Moghadam, D. G. (2020): Converging–diverging ducts for efficient utilization of low-grade wind energy: Numerical and experimental studies. Journal of Renewable and Sustainable Energy. Vol. 12, No. 2.

Ruff, R. (2022): Entwicklung eines mobilen, hydrokinetischen Kleinstenergiewandlers für den Einsatz in Schwellen- und Entwicklungsländern: PhD Thesis, Institute of Hydraulic and Water Resources Engineering, Technical University of Darmstadt, Darmstadt.

Aus den Fachgebieten:

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung
(Leitung: Prof. Schmalz)

ihwb

Lehre

Die vier ihwb-Module des **Wintersemesters 2022/2023** wurden mit der Klausur in Ingenieurhydrologie II und mit den mündlichen Prüfungen in *Integrated Water Management,* Hydrometrie und dem interdisziplinären Projekt Bau- und Umweltingenieurwissenschaften (IPBU) erfolgreich abgeschlossen (vergl. WasserJahr 2022).

Im **Sommersemester 2023** wurde erstmals das mit der neuen Prüfungsordnung PO2021 eingeführte Bachelormodul „Grundlagen der Hydrologie“ (für Wasserbau, Wasserwirtschaft und Hydraulik -Teil Hydrologie-) angeboten, in den Übungen unterstützt durch die wissenschaftliche Mitarbeiterin Lidia Nersissian. Letztmalig nach der alten Prüfungsordnung PO2014 wurde das Modul „Ingenieurhydrologie I“ im Sommersemester durchgeführt, in den Übungen betreut durch Amrei David. Auch die beiden Mastermodule Ingenieurhydrologie III und Methoden der räumlichen Analyse in der Hydrologie fanden wie gewohnt statt und wurden durch Paula F. Grosser und Amrei David unterstützt.

Im **Wintersemester 2023/2024** wurden die beiden Mastermodule Ingenieurhydrologie II (mit Amrei David) sowie das englischsprachige Modul *Integrated Water Management* (mit Lidia Nersissian) angeboten. Das Bachelormodul Ingenieurhydrologie I wurde erstmals nach neuer Prüfungsordnung gelehrt und von Helene Schmelzing unterstützt. Das Modul Hydrometrie wurde wiederum vom Lehrbeauftragten Dr.-Ing. Thomas Kraus von BGS Wasser / IGM Messen durchgeführt. Es behandelte thematisch hydrologische Messgrößen, Messtechniken zum Niederschlag, Abfluss, Wasserstand sowie Hydrometrie in der Wasserwirtschaft. Der Schwerpunkt lag in der Durchführung und Auswertung von Durchfluss-Messungen am Pegel Ober-Ramstadt. Dieser Geländetermin wurde von Dr. Kraus und seinem Team mit Unterstützung vom RP Darmstadt und ihwb-Team organisiert und betreut.

Abbildung 29: Versickerungsmulden (Foto: Google Earth 07/2022)

Das interdisziplinäre Projekt Bau- und Umweltingenieurwissenschaften (IPBU) wurde zusammen mit den Kollegen Prof. Engelhart (FG Abwassertechnik, IWAR) und Prof. Eichhorn (FG Geodätische Messsysteme und Sensorik) und ihren wissenschaftlichen Mitarbeitern durchgeführt. Das Ziel des Projekts "TU Blue Campus" ist es, die Auswirkungen von Veränderungen auf dem Campus Lichtwiese, wie z.B. Flächenver- und -entsiegelung, unter Berücksichtigung der Auswirkungen eines sich ändernden Klimas zu untersuchen. Von ihwb-Seite (Prof. Schmalz mit Paula F. Grosser) sollten die Auswirkungen dieser Veränderungen quantifiziert und ihre Folgen bewertet werden. Dazu wurden hydrologische Ansätze in Verbindung mit digitalen Gelände- oder Oberflächenmodellen durchgeführt sowie Klimavariablen zur Identifikation von Trockenphasen untersucht. Daraus sollten Transformationsszenarien unter Berücksichtigung von Entsiegelung bzw. maximierter Betriebswassernutzung erarbeitet, mit dem Status Quo verglichen und hinsichtlich ihrer Anpassungsfähigkeit an den projizierten langfristigen regionalen Klimawandel untersucht werden.

Im April 2023 hat sich das Fachgebiet ihwb wiederum in der Lehre an der ***Vietnamese-German University*** **(VGU)** engagiert. Wie auch schon in den beiden Vorjahren 2021 und 2022 war das ihwb im Sommersemester 2023 mit einem Modul im Masterstudiengang "*Water Technology, Reuse and Management*" (WTE) an der VGU beteiligt. Nach zwei pandemiebedingten digitalen Semestern konnte die Veranstaltung "*River Basin Management*" nun erstmals in Präsenz in Ho-Chi-Minh-City durchgeführt werden. Die von Prof. Schmalz und Paula F. Grosser veranstaltete zweiwöchige Blockveranstaltung für die Studierenden im dritten Semester umfasste Vorlesungen und Übungen zu Themen des Flussgebietsmanagements. Zudem fand eine Exkursion statt, die zunächst zum Saigon River führte, dann zur Kläranlage Thu Dau Mot und zuletzt zum Stausee Dau Tieng Reservoir (Abbildung 30). An letzterem wurden zwei Auslässe des Staudamms angeschaut, dessen Wasser zur landwirtschaftlichen Beregnung dient. Das Modul wurde mit einer Studienleistung sowie einer Klausur abgeschlossen.

Abbildung 30: Exkursion an den Dau Tieng Stausee (Foto: https://vgu.edu.vn)

Abschlussarbeiten

Auch im Jahr 2023 wurden Studierende im Rahmen ihrer Bachelor- oder Masterarbeiten von den Mitarbeitenden des Fachgebiets ihwb betreut. Die Forschungsfragen umfassten ein breites Spektrum von Dürre und Niedrigwasser, Eutrophierung, Infiltration und Versickerung, Durchflussmessungen und Drainierung von Ackerflächen, aber auch Themen im Bereich nachhaltiges Wassermanagement, Starkregen-Handlungsoptionen und Regenwasserbewirtschaftungskonzepten. Im Folgenden dazu eine Auflistung von im Zeitraum November 2022 bis Oktober 2023 abgeschlossenen Abschlussarbeiten:

- Analyse von Regenwasserbewirtschaftungskonzepten in Mörfelden-Walldorf (Masterarbeit, zusammen mit Prof. Knodt)
- Application of a water accounting framework for sustainable water management in the Ben Tre province in the Vietnamese Mekong Delta, under the pressures of climate change and anthropogenic stresses (Masterarbeit VGU)
- Dürre und Niedrigwasser in repräsentativen Einzugsgebieten unterschiedlicher Naturräume in Deutschland (Masterarbeit)
- Simulation der Infiltration und Versickerung in der oberen Bodenschicht mittels Hydrus-1D (Masterarbeit)
- Wasserverfügbarkeit der Rappbodetalsperre unter Berücksichtigung von Wassernutzung und Klimawandel (Masterarbeit, zusammen mit Dr. Lütkemeier, ISOE, Frankfurt)
- Analyse und Vergleich von ökotechnologischen Maßnahmen zur Minderung der Eutrophierung und dessen Folgen in Standgewässern im Rahmen der Seentherapie (Bachelorarbeit, zusammen mit S. Lemke, e.ray GmbH, Darmstadt)
- Anwendbarkeit des StreamPro ADCP zur Erfassung von Durchflussdaten (Bachelorarbeit)
- Bestimmung und Vergleich des Infiltrationsvermögens mit dem Doppelringinfiltrometer und der SCS-Curve-Number-Methode im Fischbach-Einzugsgebiet (Bachelorarbeit)
- Comparison of well and poorly drained agricultural field plots (Bachelorarbeit, zusammen mit Dr. Farkas, Norwegian Institute of Bioeconomy Research, Ås, Norway)
- Starkregen Handlungsoptionen für Kommunen auf der Grundlage von Fließpfadkarten (Bachelorarbeit, zusammen mit E. Geselle, RP Darmstadt)

Wir bedanken uns bei den Kooperationspartner*innen für die interessanten Themen und die gute Zusammenarbeit.

Promotionen

Vom Fachgebiet ihwb sind derzeit Promotionsvorhaben von Paula Farina Grosser, Mahshid Khazaeiathar, Michael Kissel, Lidia Nersissian, Manuel Perschke, Angela Rebscher, Helene Schmelzing und Dominik Scholand in Bearbeitung. Einige Inhalte sowie weitere Details dazu werden auf den Seiten 47-52 und 59-60 vorgestellt. Amrei David hat ihre Promotion zum Thema „Modeling of Rain-Related Inundation Areas in Small Rural Catchments Using the Direct Rainfall Method" im Sommer 2023 abgeschlossen. Ein ausführlicher Bericht findet sich dazu auf den Seiten 39-40. Das Fachgebiet ihwb gratuliert ganz herzlich!

Prof. Schmalz war darüber hinaus noch als Co-Referentin tätig für:

- Lohrey, Tobias: Modellgestützter Ansatz zur Effektivitätsprognose von Stauraumspülungen. Disputation am 19.07.2023 (Erstgutachter Prof. Lehmann, s. S. 23).
- Wowra, Karoline: Development of an LCA-based approach for a regional assessment of the environmental impacts of nitrogen in crop production systems. Disputation am 09.02.2023 (Erstgutachterin Prof. Schebek).

Zudem war Prof. Schmalz Prüferin in fünf Disputationen am FB Bau- und Umweltingenieurwissenschaften sowie in einer Disputation am FB Material- und Geowissenschaften der TU Darmstadt.

Promotion: Modellierung von niederschlagsbedingten Überflutungsflächen in kleinen ländlichen Einzugsgebieten mit der Methode der direkten Beregnung

Amrei David, M.Sc.

Die Erweiterung von 2d hydrodynamischen Modellen durch die hydrologischen Prozesse Niederschlag, Versickerung und Verdunstung führt dazu, dass die 2d Modelle als hydrologisch-hydrodynamische Niederschlags-Abflussmodelle (engl. *Hydrological-Hydrodynamic Rainfall-Runoff Model* – ‚HHDRRM') angewendet werden können. Durch die genannten Modellerweiterungen bietet sich eine Vielzahl neuer Nutzungsmöglichkeiten der ursprünglich für die Berechnung von Wasserspiegellagen entwickelten Modellsysteme. Ein Hauptanwendungsgebiet ist die einzugsgebietsbasierte Bestimmung von Starkregengefahren. Die resultierenden Starkregengefahrenkarten können im Rahmen von Risikobewertung, Maßnahmenplanung oder stadt- und raumplanerischer Entscheidungen zur Hilfe gezogen werden. Das Ziel ist die flächenhafte Bestimmung von Oberflächenabflüssen, um hieraus Gefährdungen von Starkregenereignissen im Vorhinein besser abschätzen und durch Maßnahmenplanung vorbeugen zu können.

Im Rahmen meiner Promotion konnte ich das Modellsystem HEC-RAS, welches seit der Version 5.0 im Jahr 2016 die Möglichkeit der Methode der direkten Beregnung (engl. *Direct Rainfall Method* oder auch *Direct Rainfall Modeling* – ‚DRM') und seit der Version 6.0 im Jahr 2021 die Erweiterung der flächendifferenzierten Beregnung, Infiltration und Verdunstung implementiert hat, in Bezug auf die Eignung als Niederschlags-Abflussmodell in kleinen ländlichen Einzugsgebieten testen. Hierfür wurden methodische Ansätze entwickelt, um die drei Forschungsfragen zur 1. Generellen Anwendbarkeit, 2. Räumlichen Auflösung der Höhendaten und Modellsensitivität und 3. Flächenhaften hydrologischen Prozessen und Kalibrierung zu beantworten. Diese wurden in einer Synthese unter der Forschungsfrage, ob die Methode der direkten Beregnung in Kombination mit dem Modellsystem HEC-RAS einen geeigneten Ansatz darstellt, um flächenhaft die Gefährdung durch Starkregenereignissen zu ermitteln, zusammengefasst. Durch die anwendungsnahe Forschungsarbeit konnten umfangreiche Modell- und Methodenkenntnisse gesammelt sowie Empfehlungen zu einer angepassten Modellparametrisierung für anwendende Modellierer:innen abgeleitet werden.

Die einzelnen Forschungsbeiträge wurden jeweils in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht und sind frei verfügbar unter:

- David, A. & Schmalz, B. (2020): Flood Hazard Analysis in Small Catchments: Comparison of Hydrological and Hydrodynamic Approaches by the Use of Direct Rainfall. Journal of Flood Risk Management, 13(4). https://doi.org/10.1111/jfr3.12639
- 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. https://doi.org/10.3390/w13172346
- David, A., Ruiz Rodriguez, E. & Schmalz, B. (2023): Importance of Catchment Hydrological Processes and Calibration of Hydrological-Hydrodynamic Rainfall-Runoff Models in Small Rural Catchments. Journal of Flood Risk Management, 16(3). https://doi.org/10.1111/jfr3.12901

Zusammenfassend wurde im Rahmen der Arbeit gezeigt, dass der Ansatz der direkten Beregnung ein großes Potenzial liefert, um flächenhaft Überflutungen auch jenseits von großen Flüssen zu ermitteln. Eine Gegenüberstellung mit konventionellen Modellierungsstrategien, wie sie zum Beispiel im Bereich der flussseitigen Hochwassergefahrenmodellierung Anwendung finden, zeigt die Vor- und Nachteile der Methode (David & Schmalz, 2020). Die Herausforderungen lagen zu Beginn vor allem noch in der stark vereinfachten Abbildung von flächenhaften, hydrologischen Prozessen im Einzugsgebiet, sowie fehlender Erfahrung in Bezug auf eine geeignete Modellparametrisierung. Durch eine systematische Auswertung der Wechselwirkung von Rechengitter, Höhenmodell und weiteren Modellparametern wurde gezeigt, dass in Bezug auf die geringen Abflusshöhen des Oberflächenabflusses eine zu grobe Modellparametrisierung bei höherem Gefällen zu Modellungenauigkeiten führen kann. Diese werden

auf verschiedene Ursachen, wie zum Beispiel entstehende künstliche Senken und nicht mehr gültige Annahmen der 2d Flachwassergleichungen zurückgeführt (David & Schmalz, 2021). Für das am 23.04.2018 im Fischbachtal aufgetretene Starkregenereignis wurden schrittweise flächenhafte, hydrologische Prozesse in das Modellgebiet integriert. Die Integration von zeitlich hoch aufgelösten Radardaten und flächendifferenzierter Abflussbildung führte unabhängig von einer Modellkalibrierung zu deutlichen Modellverbesserungen. Besonders für kurzzeitige, lokal intensive Starkregenereignisse mit einem hohen Anteil von Oberflächenabfluss ist die Verwendung der Methode für kleine Einzugsgebiete möglich. Für Ereignisse mit einem größeren Anteil von Zwischenabfluss zeigten sich Herausforderungen bei einer realitätsnahen Abbildung der Hochwasserwelle am Pegel, da diese Prozesse nicht im Modellgebiet enthalten waren. In David et al. (2023) wurde weiterhin ein Vorgehen entwickelt, einen bestehenden, konzeptionellen Ansatz zum Zwischenabfluss zu integrieren. Dieser führte für das Ereignis zunächst zu einer deutlichen Verschlechterung der Modellergebnisse und konnte erst durch eine Kalibrierung der ereignis-abhängigen Modellparameter an das Ereignis angepasst werden.

Die zusammenfassende Synthese kann frei verfügbar bei der ULB heruntergeladen werden:

- David, A. (2023): Modeling of Rain-Related Inundation Areas in Small Rural Catchments Using the Direct Rainfall Method. Darmstadt, Technische Universität Darmstadt, Dissertation. https://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/id/eprint/24374

Zum Abschluss möchte ich mich hiermit für die schöne und lehrreiche Zeit am Fachgebiet und die Jahre der Promotion bei meinen betreuenden Professor:innen Prof. Britta Schmalz und Prof. Ernesto Ruiz Rodriguez und allen Kolleg:innen des Institutes und Fachbereiches ganz herzlich bedanken!

Abbildung 31: Dissertationsfeier am 27.06.2023

Forschung

Hydrologisches Feldlabor des ihwb

Rückblick

Seit dem Jahr 2016 dient das Gersprenz-Einzugsgebiet (485 km², hessischer Teil) mit seinem Teileinzugsgebiet des Fischbaches (35,6 km² bis zum Pegel Groß-Bieberau 2) dem Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) als hydrologisches Untersuchungsgebiet, als sogenanntes Feldlabor (vergleiche Wasserjahre 2016 bis 2022). Motivation und Zweck des Betriebs von hydrologischen Feldlaboren ist es, das hydrologische Prozessverständnis zu erweitern, hydrologische Modelle zu testen, anzuwenden oder zu entwickeln sowie die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungswandel, Landmanagement und Wasserbewirtschaftung auf die Hydrologie abzuschätzen und zu bewerten. Das ihwb arbeitet dazu mit Einrichtungen der Umweltverwaltung sowie einzelnen Akteur*innen und Anwohner*innen vor Ort zusammen.

Messkonzept

Das ihwb-Messkonzept im Feldlabor basiert auf der Erfassung von Messdaten durch Mitarbeitende und Studierende, wodurch die bereits vorhandenen Landesdaten und Literaturwerte ergänzt werden. Dazu wurden an den Pegeln Groß-Bieberau 2, Wersau und Harreshausen Sensoren fest installiert und dienen der kontinuierlichen Erfassung von Wasserstand, Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit in 5-Minuten-Auflösung sowie z.T. auch von Trübung, pH-Wert und Sauerstoffkonzentration.

Wöchentliche Messungen im Fischbach-Einzugsgebiet ergänzen das kontinuierliche Monitoring um eine höhere räumliche Auflösung. Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Trübung werden so an ausgewählten Standorten (Abbildung 32) erfasst.

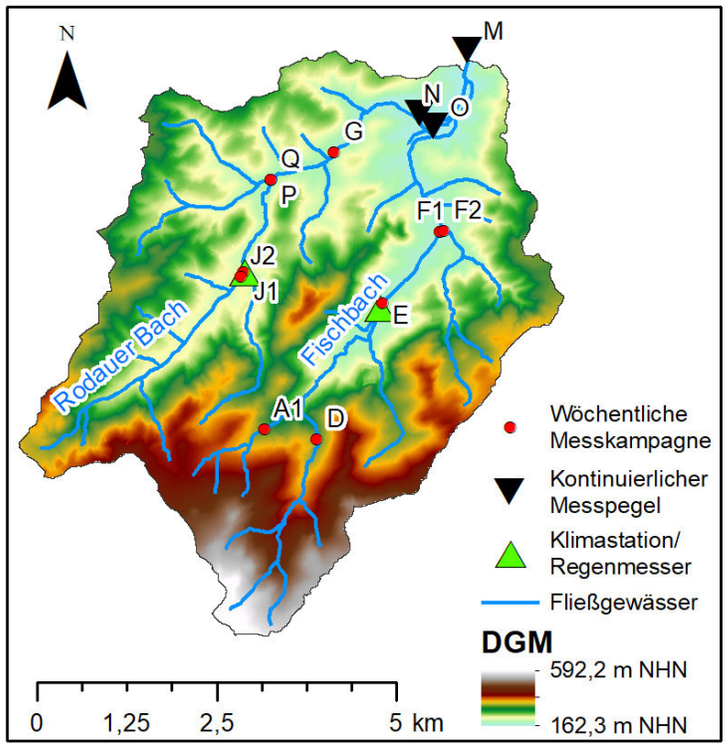


Abbildung 32: Hydro-meteorologische Messdatenerfassung im Fischbach-Einzugsgebiet durch das ihwb (DGM: HVBG)

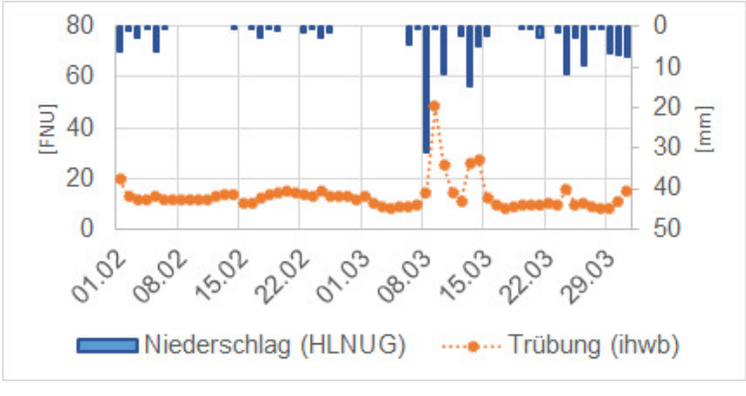


Abbildung 33: Erhöhte Trübung am Pegel Groß-Bieberau 2 nach einem Regenereignis im März 2023

Die gemessenen Daten helfen dem besseren Verständnis der hydrologischen Prozesse in diesem Mittelgebirgs-Einzugsgebiet, z.B. in Bezug auf Abflussbildung oder Erosionsprozesse. Abbildung 33 zeigt ein Beispiel von erhöhter Trübung (75 FNU Tagesmittelwert) am Folgetag nach einem Regenereignis (31 mm Tagessumme) am 08.03. 2023. Kurzzeitige Maximalwerte lagen noch höher.

Abbildung 34: Regenmesser (Foto: Romano 27.02.2023)

Die ihwb-Wetterstation am Standort Herrensee im Fischbach-Einzugsgebiet erfasst seit April 2020 weiter kontinuierlich in 5-Minuten Auflösung Lufttemperatur, Luftfeuchte, Niederschlag, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Sonnenstrahlung. Wir bedanken uns beim Wasserverband Gersprenzgebiet für die Zurverfügungstellung der Fläche zur Errichtung der Station.

Ein weiteres Monitoring von Niederschlagdaten erfolgt seit März 2021 mittels Regenmesser am Hottenbacher Hof (Abbildung 34). Wir bedanken uns ganz herzlich bei Familie Simmermacher für die Möglichkeit, auf ihrer Grünlandfläche den Regenmesser aufzustellen.

Herausforderungen

Durch die Bautätigkeiten von Bibern und den daraus resultierenden Auf- und Rückstau mussten bereits mehrere Messstellen aufgegeben werden. Wie bereits berichtet (WasserJahr 2022), sind die Standorte P und Q (Abbildung 32) schon seit Juli 2021 nicht mehr auswertbar, da sich der Wasserstand lokal erhöht und die Strömungsverhältnisse deutlich verändert haben. Es wurde ein Alternativ-Messstandort am Asbach eingerichtet, wodurch aber die Kontinuität der Messzeitreihe nicht beibehalten werden konnte. Seit August 2022 gibt es unterhalb von Standort E nicht nur eindeutige Nagespuren von Bibern zu entdecken, sondern ebenfalls mehrere Biberdämme, so dass auch hier die Messungen beeinträchtigt sind (Abbildung 35). Zahlreiche weitere Biberaktivitäten gibt es im Projektgebiet bei Richen/Groß-Umstadt, die zu lokalen Überschwemmungen geführt haben (s. Seite 44).

Abbildung 35: Nagespuren von Bibern an Bäumen (links); durch Biberdämme aufgestauter Abschnitt des Fischbachs (rechts) (Foto: Romano 02.11.2023)

Ermittlung von Nährstoffausträgen aus Drainagen eines landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebietes

Britta Schmalz und Michael Zacharias

Projektpartner: Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Motivation und Ziel

In Hessen weisen die Grund- und Oberflächengewässer in landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten überwiegend hohe Nährstoffbelastungen auf. Der schlechte chemische Zustand ist bei der Mehrzahl von Grundwasserkörpern auf Schwellenwertüberschreitungen von Nitrat, Ammonium, Sulfat und Phosphat zurückzuführen. Eine Quantifizierung landwirtschaftlicher Nährstoffeinträge in Grund- und Oberflächenwässer ist nach der Allgemeinen Verwaltungsvorschrift zur Ausweisung von mit Nitrat belasteten und eutrophierten Gebieten (AVV GeA, 2022) und nach Düngeverordnung (DüV, 2020) vorgeschrieben.

Für die modellbasierte Abbildung sowohl des Einflusses von landwirtschaftlichen Drainagen als auch die Abschätzung von Flächenbewirtschaftungsmaßnahmen auf die Gewässer-Beschaffenheit sind qualitativ hochwertige, hochaufgelöste Daten für einzelne Eintragspfade wie den Drainagen unabdingbar. Bisher gab es in Hessen keine Möglichkeit, Modellergebnisse mit realen Drainage-Daten zu validieren und zu vergleichen.

Im Kooperationsprojekt „Ermittlung von Nährstoffausträgen aus Drainagen eines Einzugsgebietes mit landwirtschaftlicher Nutzung zur Validierung der Modellansätze von AGRUM-DE“ (Laufzeit 01.10.2021 bis 31.12.2024) zwischen der TU Darmstadt (ihwb) und dem HLNUG sollen diese Daten- und Erkenntnislücken durch mehrjährige Messungen an landwirtschaftlichen Drainagen geschlossen werden. Aufgrund der jahreszeitlichen Schwankungen der Abfluss- und Sickerwasserraten und auch der variierenden landwirtschaftlichen Flächenbewirtschaftungen erfolgen die Untersuchungen des Einzugsgebietes über mehrere Jahre. Diese Ergebnisse werden dann für die Modellplausibilisierung und -validierung des Modellverbunds AGRUM-DE verwendet, um Rückschlüsse auf diffuse Nährstoffausträge ziehen zu können.

Untersuchungsgebiet und Untersuchungsprogramm

Das ausgewählte Untersuchungsgebiet liegt nördlich von Richen, einem Stadtteil von Groß-Umstadt (Landkreis Darmstadt-Dieburg). Die landwirtschaftlich genutzten Flächen sind zum Teil drainiert und entwässern in die Fließgewässer Amorbach, Richerbach und Röderbach. Die verschiedenen Zuläufe des Richerbaches sowie der Amorbach fließen Richtung Norden und münden nach ihrem Zusammenfluss als Ohlebach bei Babenhausen in die Gersprenz.

Das Untersuchungsprogramm umfasst 14 Mess- und Probenahmepunkte im Einflussbereich landwirtschaftlich genutzter Flächen. Diese unterteilen sich in sieben Drainagerohre (2, 3, 8, 9, 12, 15, 16), zwei Gräben (G-D2, G-D8) und fünf Oberflächengewässer (Roe1, Ri1, Ri2, Ri3, A1).

Abbildung 36: Drainage 8 (25.01.2022; Foto: ihwb)

Die Mess- und Probenahmekampagnen erfolgen wöchentlich. Dafür wird jede Messstelle durch das ihwb aufgesucht und bei ausreichend Wasserführung vor Ort Wasserstand, Querschnittsbreite, Profilart, ggf. Fließgeschwindigkeit, ggf. Abfluss, sowie Wassertemperatur, Sauerstoffkonzentration, pH-Wert, elektrische Leitfähigkeit und Trübung erfasst. Zudem wird an jeder Messstelle eine Wasserprobe genommen und die Situation fotografisch dokumentiert.

Vor allem während der Sommermonate fallen Drainagen aber auch kleine Bäche und Gräben trocken, so dass keine Wasserprobenahme erfolgen kann. Aber auch bei hohen Wasserständen liegen Drainagerohre teilweise unterhalb des Wasserspiegels, so dass ebenfalls keine Beprobung durchgeführt werden kann. Auch einzelne Frost- und Eistage schränken eine Probenahme an einigen wenigen Standorten ein.

Alle Wasserproben werden im Anschluss durch die Stadtwerke Groß-Umstadt, im Labor der Kläranlage Groß-Umstadt, auf Ammonium, Nitrit, Nitrat, Ortho-Phosphat und Gesamtphosphor analysiert. Die vor-Ort-Messdaten und die Labordaten werden schließlich aufbereitet und plausibilisiert sowie Nährstofffrachten (Stickstoff- und Phosphor) berechnet. Die Einordnung der Gewässergüte erfolgte für die Drainagen nach den Schwellenwerten der Grundwasserverordnung GrwV (2022) und für die Oberflächengewässer nach den Orientierungswerten der Oberflächengewässerverordnung OGewV (2020).

Biberaktivitäten veränderten die hydrologischen Gegebenheiten im Gebiet. Der Bau von Biberdämmen führte am Richerbach unterhalb der Messstelle Ri3 zu einem dauerhaften Rückstau an den Messstellen Ri2, Ri3 und temporär auch an Roe1 und G-D8. Die Messstelle Ri3 wurde daher im Juni 2023 aufgegeben. Zahlreiche weitere Biberdämme wurden bereits im Untersuchungsgebiet dokumentiert, haben bislang aber zu keiner direkten Beeinträchtigung der Messstellen geführt. Abschnittsweise kommt es allerdings zu Rückstau im Richerbach und Überflutungen der anliegenden landwirtschaftlichen Flächen mit seitlichem Abfluss.

Abbildung 37: *Überschwemmung bei Ri2, verursacht durch Biberdämme (31.10.2023; Foto: ihwb)*

Erste Ergebnisse

Erste Nitrat- und Ammonium-Ergebnisse für den Zeitraum Sept. 2022 bis März 2023 wurden bereits ausgewertet. Bei den Drainagen wurden die jeweiligen Schwellenwerte hauptsächlich für Nitrat mehrmalig überschritten (Drainagen 8, 9, 15), für Ammonium jedoch nur an einem Messtermin in Drainage 8. In den Gräben und Bächen ist bezüglich Ammonium an fast allen Messstellen eine häufige und z. T. deutliche Überschreitung der Orientierungswerte festzustellen, während nur an einer Messstelle (Ri1) und nur an einem Messtermin eine Nitrat-Überschreitung erfasst wurde.

Durch trockene Witterung und hohe Temperaturen kommt es zur Austrocknung der Böden, so dass die Drainagen in den Sommermonaten, aber z.T. auch im Frühjahr und Herbst, kein Wasser führen. Auch für den hier ausgewählten Zeitraum konnte festgestellt werden, dass erst im November 2022 die erste der ausgewählten Drainagen wieder wasserführend war. Sogar die Niederschläge Mitte September 2022 waren nicht ausreichend, um die Wurzelzone zu sättigen, so dass Wasser über die Drainagen abgeführt werden konnte. Die Niederschläge um Weihnachten 2022 führten hingegen zu Drainageabflüssen an den meisten der Messpunkte (außer 9 und 16).

Nutzung des Feldlabors für Promotions- und Abschlussarbeiten

Weitere Daten und Ergebnisse 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 47-48)
- Analyse des Modellverhaltens eines 2D hydrodynamischen Modells als Niederschlags-Abflussmodell (Amrei David, vergleiche Seiten 39-40)
- Abschätzung des Basisabflusses für die hydrologische Modellierung (Michael Kissel)
- Auswirkungen des Klimawandels mit Fokus auf Trockenheit (Paula Farina Grosser, vergleiche Seiten 49-50)
- Analyse von Bodenerosionsprozessen und Parametrisierung hydrologischer und hydraulischer Einflussgrößen in der Erosionsmodellierung (Angela Rebscher)
- Abschätzung des Erosionsgeschehens innerhalb von Einzugsgebieten (Dominik Scholand, vergleiche Seiten 51-52).

Auch **Bachelor- und Masterarbeiten** trugen durch ihre Analysen und Auswertungen zu weiterem Erkenntnisgewinn über die Prozesse im Gersprenz-Einzugsgebiet bei. Im Zeitraum 11/2022-10/2023 wurden vier Abschlussarbeiten mit Bezug zum Feldlabor abgeschlossen.

In der Bachelorarbeit „Anwendbarkeit des StreamPro ADCP zur Erfassung von Durchflussdaten“ wurden an bekannten Standorten verschiedene Durchflussmessgeräte auf ihre Genauigkeit und Einsetzbarkeit in flachen Gewässern getestet und verglichen (Breidung, 2023). Dabei wurden die Ergebnisse und die Messdauer bei unterschiedlichen Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten analysiert. Daraus wurde eine Entscheidungshilfe abgeleitet, welches Messgerät bei welchen Vor-Ort-Bedingungen eingesetzt werden kann.

Zwei weitere Arbeiten beschäftigten sich mit dem Thema Infiltration und knüpften dabei an bereits abgeschlossene Studien an. In der Masterarbeit „Simulation der Infiltration und Versickerung in der oberen Bodenschicht mittels Hydrus-1D“ (Schintgen, 2022, vergleiche Seiten 12-13) wurden mithilfe des Doppelringinfiltrometers im Fischbach-Einzugsgebiet für ausgewählte Standorte die Infiltrationsraten bestimmt, zudem Bodenparameter im Labor analysiert. Anschließend wurde eine Simulation der Infiltration in den Boden und des Wassertransports durch den Boden durchgeführt und mit den Ergebnissen der Feldversuche verglichen. Die Bachelorarbeit „Bestimmung und Vergleich des Infiltrationsvermögens mit dem Doppelringinfiltrometer und der SCS-Curve-Number-Methode im Fischbach-Einzugsgebiet“ (Voigt, 2023) hatte zum Ziel, die Ergebnisse beider Verfahren zu vergleichen und die Vor- und Nachteile beider Methoden herauszuarbeiten.

Schließlich wurden in der Masterarbeit „Dürre und Niedrigwasser in repräsentativen Einzugsgebieten unterschiedlicher Naturräume in Deutschland“ (Hofmann, 2023) die unterschiedlichen Ausprägungen und Entwicklungen von Niedrigwasser und Dürre im Hinblick auf die verschiedenen naturräumlichen und hydrologischen Bedingungen im Norddeutschen Tiefland, Mittelgebirge, Alpenvorland und Alpen untersucht. Es wurden u.a. Niedrigwasser- und Dürreindizes berechnet.

Nutzung des Feldlabors in der Lehre und in Kooperation mit anderen Universitäten

Im Rahmen von „Ingenieurhydrologie III“ wurde am 26.05.2023 eine Exkursion zum Pegel Groß-Bieberau 2 durchgeführt, um den Studierenden einen Eindruck von der Größe und Gestalt des Fischbaches sowie der Umgebung zu vermitteln. Zudem wurden Messgeräte und ausgewählte Messmethoden erklärt und vorgeführt (Abbildung 38). Die Exkursion wurde von Dominik Scholand, Paula F. Grosser und Giuseppe Romano organisiert und betreut. Die Kenntnisse sollten helfen, die Aufgabenstellung der Modul-Studienleistung besser zu verstehen und umzusetzen, die eine hydrologische Modellierung des Fischbach-Einzugsgebietes umfasste.

Abbildung 38: Exkursion zum Pegel Groß-Bieberau 2

Die bereits bestehenden Kontakte an die Rheinland-Pfälzische Technische Universität (RPTU) in Landau (bzw. vorher Campus Landau der Uni Koblenz-Landau) wurden im Rahmen einer studentischen Lehrveranstaltung vertieft. Am 29./30.06.2023 reisten Prof. Hermann Jungkunst und sein Mitarbeiter Dr. Klaus Schützenmeister der AG Geoökologie und Physische Geographie des Instituts für Umweltwissenschaften mit 15 Studierenden aus Landau an. Ziel war es, den Studierenden die Charakteristika eines ausgewählten Einzugsgebietes vorzustellen, dann eine bodenkundliche Kartierung durchführen zu lassen und die Ergebnisse zusammen mit den Gebietseigenschaften zu interpretieren. Prof. Schmalz und Giuseppe Romano vom ihwb begleiteten die Einführung und Kartierung. Die mittels Pürckhauer-Bohrstock erzielten Bodenproben (Abbildung 39) wurden u.a. als Braunerden angesprochen.

Abbildung 39: Bodenprobe im Pürckhauer-Bohrstock

Bestimmung des Effektiven Niederschlags mit der modifizierten SCS-Methode von Kleeberg & Overland (1989)

Lidia Nersissian, M.Sc.

Das Auftreten von Extremereignissen wie Starkregen und Dürre wird aufgrund des Klimawandels immer häufiger prognostiziert. Daher ist die Abschätzung der Abflussbildung in der Hydrologie eine wichtige Bemessungsgröße, um Managementstrategien für den Hochwasserschutz abzuleiten. Ein bereits bewährtes Verfahren für die Bestimmung des effektiven Niederschlags ist das *Curve-Number*-Verfahren des amerikanischen *Soil Conservation Services* (SCS).

Einfluss von Parametern auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags

In einer ersten Studie wurde eine Sensitivitätsanalyse mit ausgewählten Kenngrößen (Hangneigung, Vorregenindex, *Curve Number*) nach der modifizierten SCS-Methode von Kleeberg & Overland (1989) durchgeführt. Als Studiengebiet wurde hierfür das Mittelgebirgseinzugsgebiet Fischbach (36 km^2) in Südhessen ausgewählt. Das Verfahren ist gut umsetzbar aufgrund der öffentlichen Daten zur Landnutzung (ATKIS), Boden (BFD50) und Topographie (DGM), sowie Niederschlagsdaten von der Wetterstation des Fachgebiets ihwb. Am Beispiel einer ausgewählten Referenzlinie wird die Empfindlichkeit der Kennwerte in Abbildung 40 visualisiert. Der Referenzwert wurde mit den Kennwerten Niederschlag = 24,5 mm, VN_{akt} = 8,4 mm, CN = 60 mit einem Gefälle von i = 15 % bestimmt und entspricht ca. 25 % effektiver Niederschlag. Eine Veränderung dieser Kennwerte in 5 %-Schritten zeigt die relative Auswirkung auf den effektiven Niederschlag.

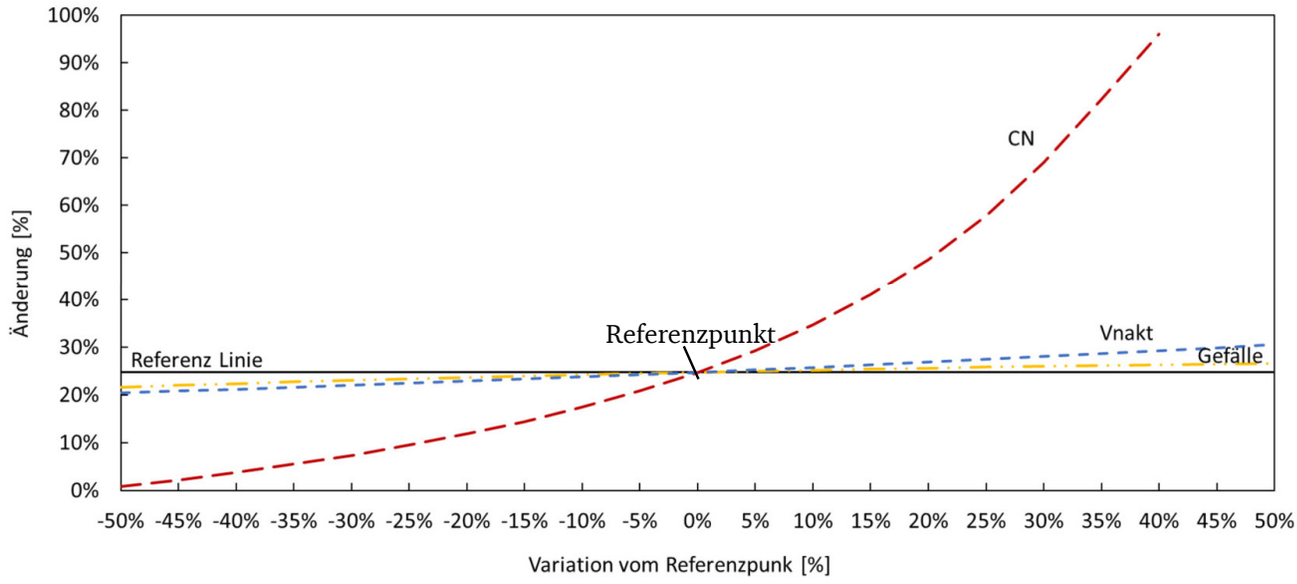


Abbildung 40: Sensitivitätsanalyse von Vorregenindex VN_{akt}, Curve Number (CN) und Gefälle im Vergleich zu einer Referenzlinie

Die Studie ergab, dass unter den getesteten Faktoren die Hangneigung den geringsten Einfluss auf den abflusswirksamen Niederschlag hatte, gefolgt von dem Vorregenindex, während der CN-Wert, der den Bodentyp und die Landnutzung berücksichtigt, das Ergebnis am stärksten beeinflusst und somit die höchste Empfindlichkeit aufweist. Die Wahl der standortspezifischen CN-Werte ist somit ausschlaggebend für das Ergebnis. Diese beinhaltet ausreichende Informationen über die Bodenart für die Auswahl der hydrologischen Bodenklassen sowie die Landnutzung und u.a. Angaben zu Bodenbedeckung, Erosionsschutzmaßnahmen und Zustand des zu untersuchenden Gebiets.

Ist die öffentliche Datengrundlage für die Berechnung des abflusswirksamen Niederschlags gut genug?

Im Rahmen von Abschlussarbeiten wurden weitergehende Fragestellungen aufgestellt und beantwortet. Anhand von Feldarbeiten wurden Bodenproben von repräsentativen Standorten im Fischbach-Einzugsgebiet genommen, um diese nach der DIN 18123 (2011) und DIN EN ISO 17892.4 (2017) durch Siebung und Sedimentation in die Bodenanteile Sand, Schluff und Ton einzuteilen. Anhand von diesen Bodenzusammensetzungen konnten die Standorte in die tatsächlichen hydrologischen Bodenklassen eingeordnet werden. Für verschiedene Niederschlagsereignisse und -dauern wurde der abflusswirksame Niederschlag mit und ohne die Ergebnisse der Bodenproben berechnet. In Abbildung 41 sind die Ergebnisse als prozentuelle Abweichung voneinander für drei Landnutzungsarten (Wald, Wiese, Acker) dargestellt. Zusätzlich wurden jeweils nasse und trockene Vorbedingungen des Bodens hinzugezogen.

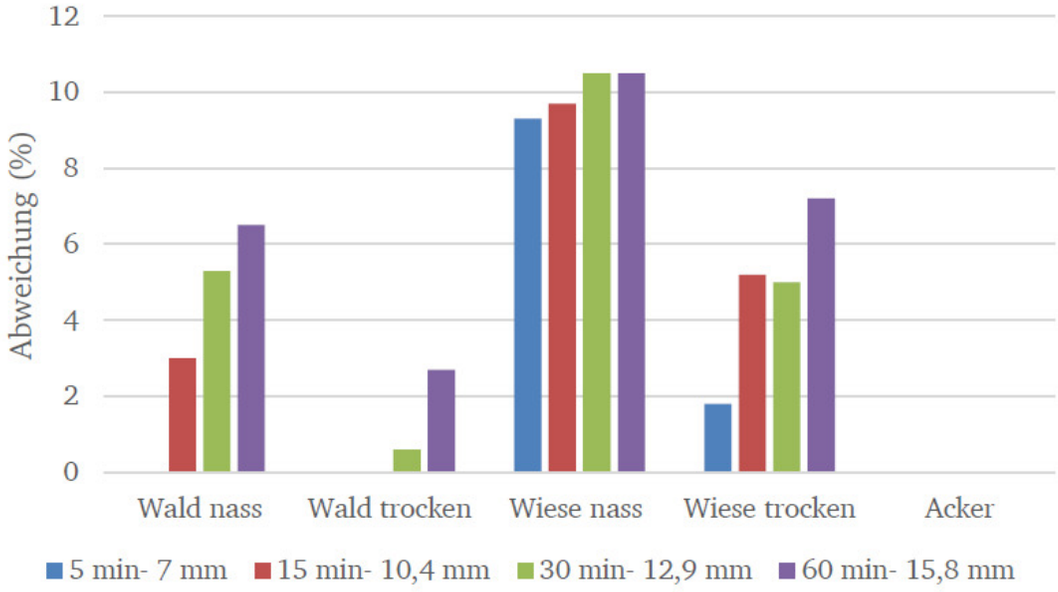


Abbildung 41: Prozentuale Abweichung des effektiven Niederschlags mit und ohne Bodenproben für vier Niederschlagsereignisse und -dauern (Voigt, 2023)

Die größten Abweichungen sind bei der Landnutzung Wiese zu erkennen, da die Spannweite der CN-Werte für Wiese bzw. Weide im Regelwerk DVWK (2003) groß ist, und eine Einteilung in eine der Landnutzungen ohne weitere Informationen bzw. Ortsbegehung sich als schwierig erwiesen hat. Auffällig sind die kleineren Abweichungen von trockenen Bodenbedingungen zu nassen. Auch steigen die Abweichungen mit höheren und längeren Niederschlagsereignissen. Lediglich auf landwirtschaftlich genutzten Flächen konnten weder für nasse noch für trockene Vorbedingungen Abweichungen ermittelt werden, da die CN-Werte in dem Regelwerk kaum variieren. Somit sind für kurze Regenereignisse mit kleineren Niederschlagsmengen eine gute Einstimmung über den abflusswirksamen Niederschlag zu erwarten und es besteht keine Notwendigkeit, Versuche im Feld und Labor durchführen zu müssen.

In einer zweiten Studie sollen im Hinblick einer Modellverbesserung die berechneten Ergebnisse nach der modifizierten SCS-Methode mit gemessenen Lysimeterdaten bewertet werden.

Literatur:

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DVWK) (2003): Ursache-Wirkungsbeziehungen zu Hochwasserereignissen. ATV-DVWK-Arbeitsgruppe HW-3.2 „Hochwasser“. Hennef.

Kleeberg, H.-B. & Overland, H. (1989): Zur Berechnung des effektiven oder abflusswirksamen Niederschlags. Institut für Wasserwesen. Mitteilung Heft 32/1990. Universität der Bundeswehr München.

Voigt, M. (2023): Bestimmung und Vergleich des Infiltrationsvermögens mit dem Doppelringinfiltrometer und der SCS-Curve-Number-Methode im Fischbach-Einzugsgebiet. Bachelorthesis TU Darmstadt, Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung.

Modellierung der Auswirkungen des Klimawandels auf die hydrologischen Prozesse im Gersprenz-Einzugsgebiet – Aufsetzen eines hydrologischen Modells

Paula Farina Grosser

Nach Angaben der Weltorganisation für Meteorologie waren die letzten acht Jahre die wärmsten seit Beginn der Aufzeichnungen. Dieser signifikante Temperaturanstieg ist auch im Gersprenz-Feldlabor nicht unbemerkt geblieben. Die Auswirkungen des Klimawandels sind vielfältig, wobei die Wasserressourcen besonders betroffen sind. Zu den Folgen gehören längere und intensivere Dürreperioden, eine geringere Wasserverfügbarkeit, höhere Verdunstungsraten und veränderte Niederschlagsmuster. Die Auswirkungen der globalen Erwärmung auf die Hydrologie können mit hydrologischen Modellen bewertet und quantifiziert werden. Die neueste Version des Soil and Water Assessment Tool, SWAT+, ist ein solches Modell. Es arbeitet auf der Ebene von Flusseinzugsgebieten und zeichnet sich durch seine vielfältige Einsetzbarkeit und die große Anzahl von Eingabeparametern aus. Zur Erstellung des Modells werden Daten wie Topographie, Landnutzung, Bodeneigenschaften, Landmanagement, Klimadaten und Abflussinformationen benötigt (Abbildung 42). Insbesondere das Landnutzungsmanagement ist eine wichtige Komponente von SWAT+, da es die Einbeziehung von Bewirtschaftungspraktiken und Anbauformen für verschiedene Landnutzungen, wie z.B. Ackerbewirtschaftung und Wiesen, ermöglicht.

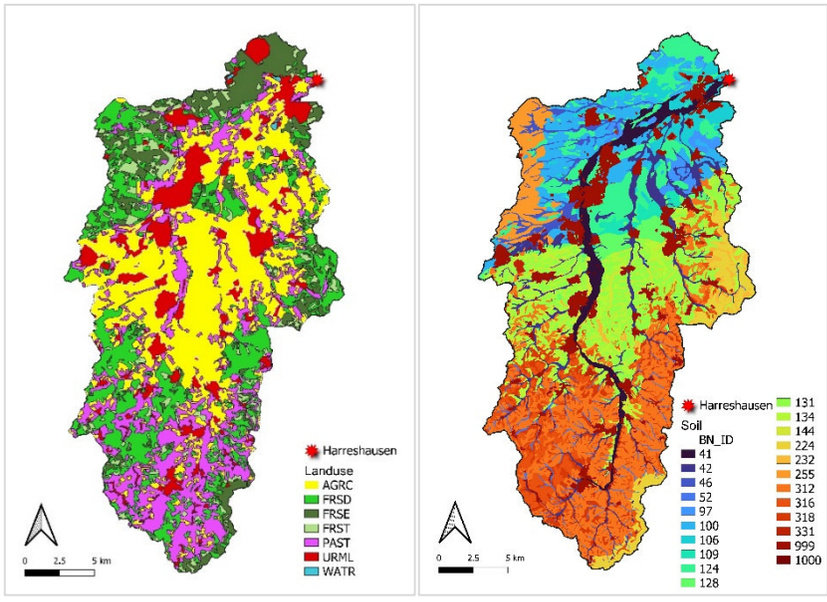


Abbildung 42: Landnutzungs- und Bodendaten für das Gersprenz-Einzugsgebiet (CORINE 2018, HLNUG 2023)

Bei der Konfiguration eines hydrologischen Modells können gemessene meteorologische Daten verwendet werden, um einen Abfluss zu berechnen. Dieser Abfluss kann dann mit dem im gleichen Zeitraum aufgezeichneten, tatsächlichen Abfluss verglichen werden. Auf diese Weise kann das Modell so kalibriert werden, dass die Simulation so genau wie möglich mit den beobachteten Daten übereinstimmt.

Abbildung 43 zeigt die Ganglinie des unkalibrierten Modells. Die Ganglinie stimmt bereits grob mit den beobachteten Daten überein, aber es sind weitere Anpassungen erforderlich, um die Güte des Modells zu verbessern.

Bei Modellen wie SWAT+, die eine Vielzahl von Parametern und Eingaben berücksichtigen, kann es schwierig sein zu bestimmen, welche Parameter für eine optimierte Kalibrierung angepasst werden müssen. In solchen Fällen wird eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, um die einflussreichsten Parameter für die spezifische Fallstudie zu ermitteln. Die Latin Hypercube-One-Factor-At-a-Time (LH-OAT) - Methode wird in der hydrologischen Modellierung häufig zu diesem Zweck eingesetzt. Sie kombiniert LH-Sampling zur Auswahl von Parameterkombinationen und OAT zur Bewertung der Auswirkungen einzelner Parameter. Dadurch wird eine breite Palette von Parametern effizient untersucht und ihre Auswirkungen auf das Modellverhalten genau bestimmt.

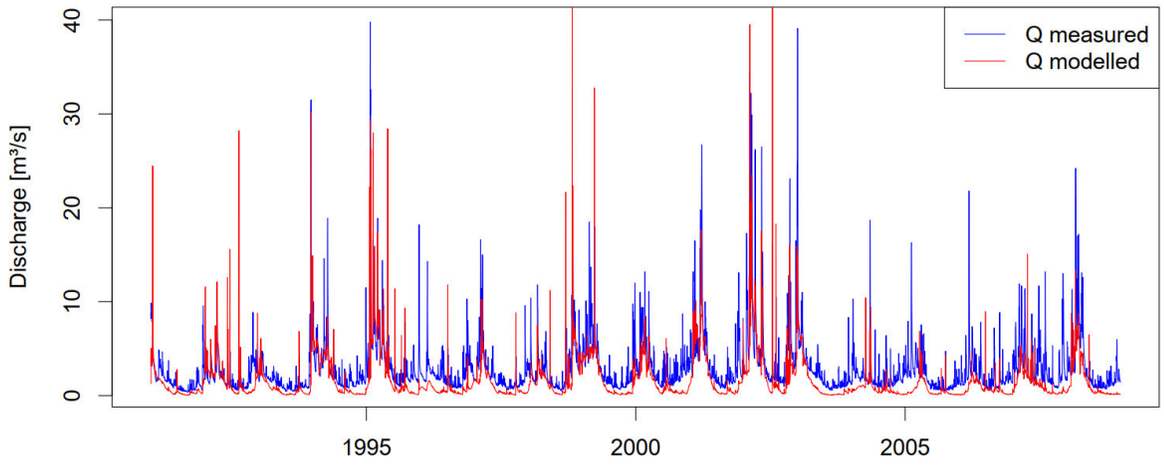


Abbildung 43: Beobachteter und simulierter Abfluss des unkalibrierten Modells

Abbildung 44 umfasst Diagramme zur Darstellung von Parameteränderungen und der daraus resultierenden Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE) der Simulation. Eine größere Spanne der NSE innerhalb des jeweiligen Parameterbereichs deutet auf eine höhere Parameterempfindlichkeit hin. Nach dem gründlichen Prozess der Parameterauswahl wird die Bedeutung der Modellkalibrierung deutlich. Durch die Kalibrierung wird sichergestellt, dass das hydrologische Modell die beobachteten Daten adäquat abbildet, so dass die Prognosen des Modells exakter werden. Sobald das Modell parametrisiert und kalibriert ist, ist der nächste entscheidende Schritt die Modellvalidierung. Dabei wird die Leistung des Modells in einem weiteren Zeitraum getestet, wodurch die Zuverlässigkeit des Modells erneut überprüft werden kann.

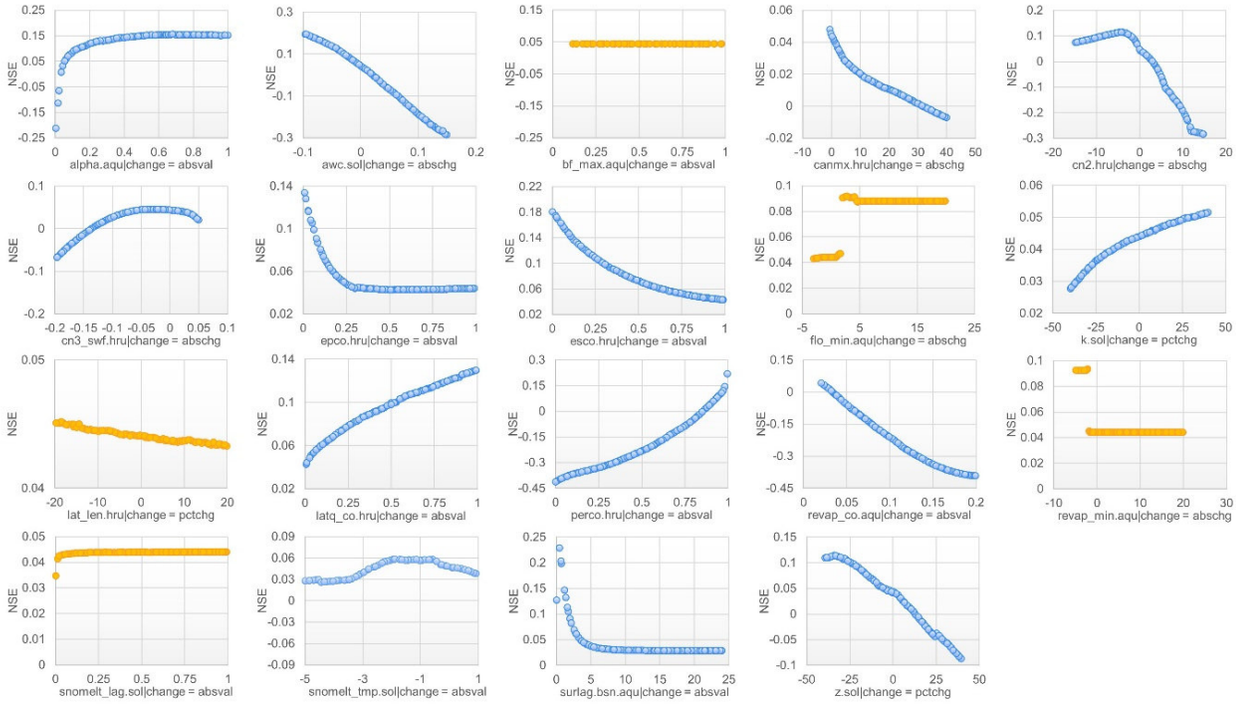


Abbildung 44: Parameteränderungen und die daraus resultierende Nash-Sutcliffe-Effizienz (NSE)

Sobald das Modell die Validierungsphase erfolgreich durchlaufen hat, wird es ein leistungsfähiges Instrument für die Simulation künftiger hydrologischer Prozesse. Durch die Verwendung projizierter Klimadaten können wir die zukünftigen Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Wasserressourcen abschätzen. Auf diese Weise können wir kritische Aspekte der Wasserbewirtschaftung wie die Wahrscheinlichkeit von Dürren bewerten und uns auf verschiedene Szenarien vorbereiten, die sich aufgrund der veränderten Klimabedingungen ergeben können.

Analyse und Quantifizierung der Querbewirtschaftung auf Ackerflächen zur verbesserten Abschätzung des Bodenabtrags durch Wassererosion

Dominik Scholand, M.Sc.

Eine Querbewirtschaftung von Ackerschlägen kann als Bodenschutzmaßnahme den durch Wassererosion verursachten Bodenverlust verringern. Die allgemeine Bodenabtragsgleichung (ABAG) basiert auf der amerikanischen Version der Universal Soil Loss Equation (USLE) und berücksichtigt diese Maßnahme in Abhängigkeit von Neigung und Hanglänge durch den P-Faktor. Im Optimalfall erfolgt eine Bewirtschaftung des einzelnen Ackerschlages parallel entlang der Höhen- bzw. Konturlinien im Gelände quer zur Hangneigung. Da der P-Faktor standortspezifisch ist, muss er für jede landwirtschaftliche Parzelle (Ackerschlag) einzeln abgeleitet werden. Der hohe Aufwand für die Quantifizierung der individuellen Bodenschutzmaßnahmen und häufig fehlende Eingangsdaten zur Bestimmung des P-Faktors machen ihn zum am meisten vernachlässigten Faktor bei der praktischen Anwendung der ABAG. Eine Vernachlässig der Schutzmaßnahmen bei der Quantifizierung des Bodenabtrags mit der ABAG führt in der Regel zu lokal überhöhten Ergebnissen in der Erosionsmodellierung und damit auch zu einem Vertrauensverlust in die Zuverlässigkeit der Ergebnisse.

Der in Abbildung 45 dargestellte Arbeitsablauf zeigt im unteren Bereich eine in der Vergangenheit veröffentlichte Methode zur Ableitung der Hauptbearbeitungsrichtung eines Ackerschlags mittels Liniendetektion auf Basis von Orthophotos (Google Earth™) und Vektordaten der Ackerschlagsgeometrien (Land Parcel Information System der EU) (Scholand & Schmalz, 2021). Diese Methode wurde im Anschluss um eine Berechnung des P-Faktors für die Allgemeine Bodenabtragsgleichung erweitert, welche die topografischen Eigenschaften des jeweiligen Ackerschlags durch die Parameter Hangneigung, erosionswirksame Hanglänge und die Hauptgefällerichtung (Ausrichtung) berücksichtigt.

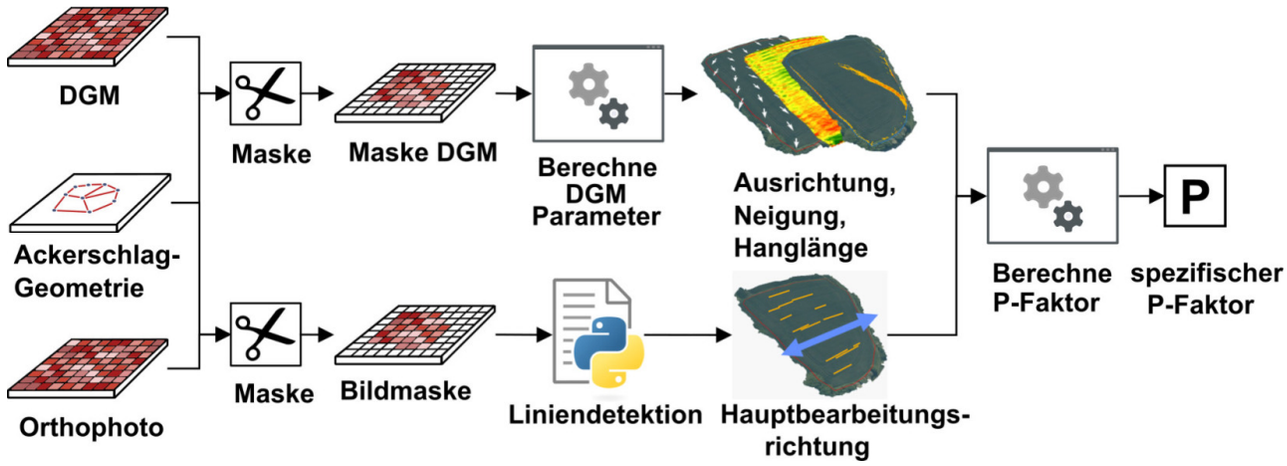


Abbildung 45: Arbeitsablauf zur Berechnung des P-Faktors unter Verwendung von DGM-Parametern und einer automatisch abgeleiteten Hauptbearbeitungsrichtung aus Fernerkundungsdaten

Maßgebliche Probleme für eine erfolgreiche Bestimmung der Hauptbearbeitungsrichtung lagen bei der ersten Anwendung in einer fehlerhaften Detektion von Linien verursacht z.B. durch Bodenerosionserscheinungen, Schattenschlag, abweichende Fahrspuren im Vorgewende oder Gehölz.

Im aktuellen Forschungsvorhaben wurde der an die Liniendetektion anschließende Python-Algorithmus optimiert, wodurch eine deutliche Verbesserung der Erfolgsquote für diese Methode zu verzeichnen war. Abbildung 46 stellt die beiden wesentlichen Maßnahmen zur Verbesserung des Ergebnisses in Form von Implementierung einer Erkennung von Ausreißern innerhalb der detektierten Linien sowie einer adaptiven Optimierung des Puffers in Abhängigkeit von der Größe des Ackerschlags sowie weiteren Bild- und Formeigenschaften dar. Jede Maßnahme für sich allein genommen sowie die Kombination von adaptivem Puffer und der Eliminierung von Ausreißern steigert die Erfolgsquote deutlich.

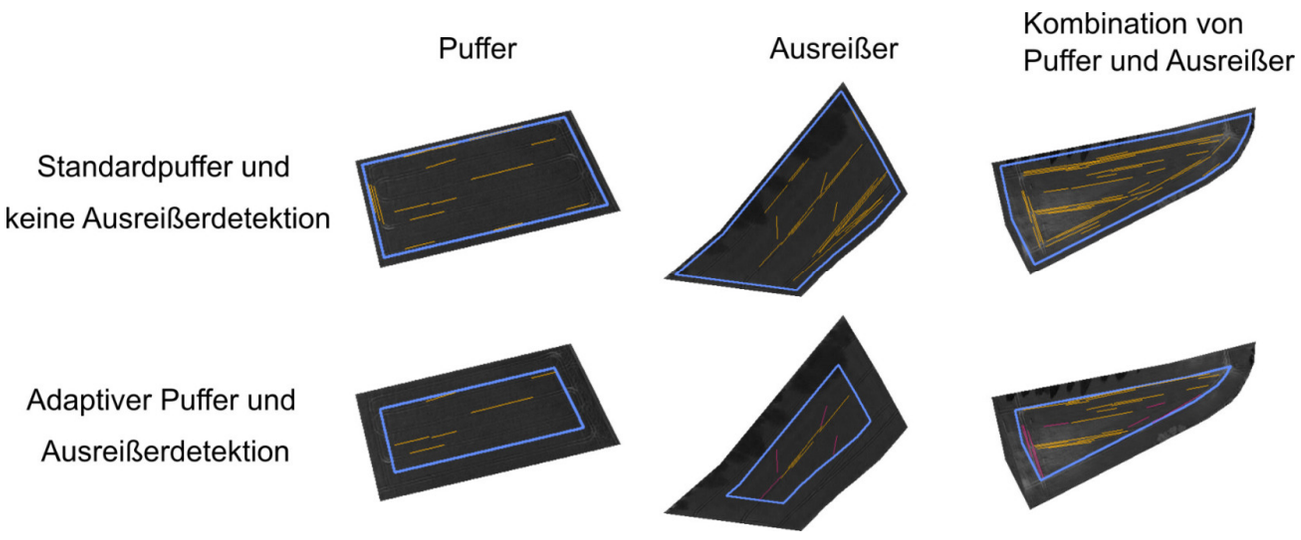


Abbildung 46: Funktionsweise und Ergänzung des adaptiven Puffers und der Eliminierung von Ausreißern (Bilder sind nicht maßstabsgetreu; blau: Kontur des adaptiven Puffers, gelb: detektierte Linien, magenta: erkannte Ausreißer) (Datenquelle: Google Earth™)

Lag die Erfolgsquote bei der ersten Anwendung in einer vorausgehenden Veröffentlichung noch bei 77,7 % für 278 Ackerschläge, so steigerte sich diese auf 94,9 % für aktuell 2495 getestete Ackerschläge bei gleicher Datenquelle und gleicher Qualität der Eingangsdaten.

Die daraus abgeleitete Information der Bearbeitungsrichtung wurde im Anschluss in die in Abbildung 45 dargestellte Methodik integriert. Für eine Auswertung wurde der P-Faktor zum einen nach deutscher Norm DIN 19708 und zum anderen nach einem Ansatz von Auerswald (1992), basierend auf der revidierten Form der USLE (RUSLE: Revised Universal Soil Loss Equation) berechnet, um eine Überarbeitung der aktuellen Fassung der DIN 19708 anzuregen. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen deutlich, dass der Ansatz von Auerswald ganzheitlicher anwendbar ist, da er keine Einschränkungen bzgl. Wertebereich in der Hangneigung und Hanglänge vorgibt. Stattdessen wirkt sich die Überschreitung von kritischen Werten für die erosionswirksame Hanglänge und Hangneigung reduzierend auf den Effekt der Querbewirtschaftung aus, was in einer quantitativen Abnahme des P-Faktors resultiert. Darüber hinaus berücksichtigt nur der Ansatz von Auerswald die Oberflächenrauigkeit bzw. Kammhöhen der Ackerflächen, die für den Wasserrückhalt bei Oberflächenabfluss entscheidend sind. Er verdeutlicht aber auch, dass die ABAG nur zur Abschätzung des Risikos der Bodenerosion durch Wasser angewendet werden sollte, da viele Details zu oberflächlich betrachtet werden. Der P-Faktor kann im Anschluss an eine Risikoermittlung dazu eingesetzt werden, entsprechende Schutzmaßnahmen, wie die Querbewirtschaftung auf ihre Wirkung zu überprüfen und Empfehlungen für die Bewirtschaftung in der Praxis auszusprechen. Die Möglichkeiten der Querbewirtschaftung sind in der Praxis jedoch insbesondere in steilen Hanglagen häufig begrenzt durch zu steile Hänge und im Verhältnis zur Topographie ungünstig ausgerichtete Flurstücke und daraus resultierenden unwirtschaftlichen Wendemanövern. In diesen Fällen muss eine Kombination von Maßnahmen wie eine Hanglängenverkürzung, der Anbau bodenbedeckender Kulturpflanzen, die Errichtung von Querriegeln, eine auf der Topographie basierende Aufteilung der Schläge oder eine Implementierung abflussbegrenzender Landschaftslemente (z.B. Hecken, Wälle oder Grünstreifen) angestrebt werden, um das Ziel einer wirksamen Erosionsminderung zu erreichen.

Auerswald, K. (1992): Verfeinerte Bewertung von Erosionsschutzmaßnahmen unter deutschen Anbaubedingungen mit dem P-Faktor der Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG). Z. f. Kulturtechnik und Landentwicklung 33: 137-144.

Deutsches Institut für Normung e. V. (DIN) (Hg.) (2017): Bodenbeschaffenheit – Ermittlung der Erosionsgefährdung von Böden durch Wasser mit Hilfe der ABAG. DIN 19708: 2017-08.

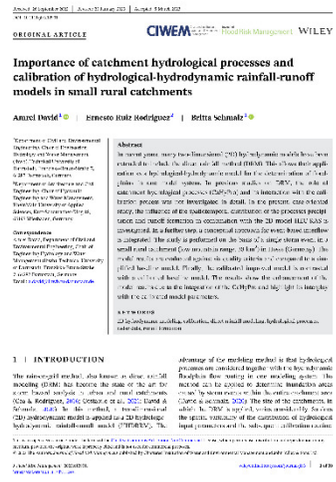
Scholand, D., Schmalz, B. (2021): Deriving the Main Cultivation Direction from Open Remote Sensing Data to Determine the Support Practice Measure Contouring. Land: 10(11):1279.

Präsentation der Forschungsergebnisse aus dem Feldlabor

Begutachtete Publikationen im Kontext des ihwb-Feldlabors:

- **David, A., Ruiz Rodriguez, E. & Schmalz, B. (2023):** Importance of catchment hydrological processes and calibration of hydrological-hydrodynamic rainfall-runoff models in small rural catchments. Journal of Flood Risk Management: e12901; 30 p. DOI: 10.1111/jfr3.12901.

In diesem Beitrag wird der Einfluss der raum-zeitlichen Verteilung der Prozesse Niederschlag und Abflussbildung in Kombination mit dem 2D-Modell HEC-RAS einschließlich seiner Erweiterung um die direkte Niederschlagsmethode (DRM) untersucht. In einem weiteren Schritt wird ein konzeptioneller Ansatz für einen ereignisbasierten Zwischenabfluss integriert. Die Studie wird auf der Basis eines einzelnen Unwetterereignisses im Fischbach-Einzugsgebiet durchgeführt. Die Modellergebnisse werden anhand von sechs Qualitätskriterien bewertet und mit einem vereinfachten Basismodell verglichen. Schließlich wird das kalibrierte verbesserte Modell einem kalibrierten Basismodell gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen die Verbesserung der Modellergebnisse durch die Integration der hydrologischen Prozesse im Einzugsgebiet und verdeutlichen dessen Zusammenspiel mit den kalibrierten Modellparametern.


ORIGINAL ARTICLE

CIWEM Flood Risk Management WILEY

Importance of catchment hydrological processes and calibration of hydrological-hydrodynamic rainfall-runoff models in small rural catchments

Amael David | Ernesto Ruiz Rodriguez | Britta Schmalz

Abstract

1 | INTRODUCTION

- **Grosser, P.F. & Schmalz, B. (2023):** Projecting Hydroclimatic Extremes: Climate Change Impacts on Drought in a German Low Mountain Range Catchment. Atmosphere 14(8): 1203. DOI: 10.3390/atmos14081203.

In diesem Beitrag werden die Auswirkungen des Klimawandels auf künftige Trockenperioden im Gersprenz-Einzugsgebiet als einem repräsentativen Einzugsgebiet in den deutschen Mittelgebirgen untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie geben Aufschluss über die möglichen Auswirkungen auf die künftige saisonale Wasserverfügbarkeit und helfen Entscheidungsträgern und Interessengruppen bei der Bewältigung regionaler Risiken des Klimawandels. Klima- und Dürreindizes sowie die klimatische Wasserbilanz werden bis zum Jahr 2100 berechnet und analysiert, bezogen auf einen Referenzzeitraum. Ein Szenario mit hohen Emissionen (RCP8.5) und ein Klimaschutzszenario (RCP2.6) werden betrachtet, um Unsicherheiten zu berücksichtigen. Die Ergebnisse zeigen eine überdurchschnittliche Erwärmung im Untersuchungsgebiet im Vergleich zum nationalen Durchschnitt. Unter dem RCP8.5-Szenario weist die ferne Zukunft durchschnittlich 44 jährliche Hitzetage auf, an denen die maximale Tagestemperatur 30°C übersteigt. Trotz feuchterer Winter kommt es weiterhin zu ausgedehnten Trockenperioden. Der Wasserstress verschärft sich im Sommer und Herbst mit einer prognostizierten Zunahme der Trockenperioden um 68 %. Die Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit von Anpassungsstrategien, da selbst ehrgeizige Bemühungen zur Eindämmung der globalen Erwärmung eine regionale Anpassung erfordern. Die Studie stellt die erste Anwendung eines deutschlandweiten, bias-bereinigten und regionalisierten Datensatzes auf Einzugsgebietsebene dar. Sie liefert neue Erkenntnisse für das regionale Wasserressourcenmanagement und fördert das Verständnis der Auswirkungen des Klimawandels in deutschen Mittelgebirgsregionen.

atmosphere MDPI

Article

Projecting Hydroclimatic Extremes: Climate Change Impacts on Drought in a German Low Mountain Range Catchment

Paula Farina Grosser and Britta Schmalz

- **Grosser, P.F., Xia, Z., Alt, J., Rüppel, U. & Schmalz, B. (2022):** Virtual field trips in hydrological field laboratories: The potential of virtual reality for conveying hydrological engineering content. Education and Information Technologies. Published: 28.11.2022. 27 p. DOI: 10.1007/s10639-022-11434-5.

In dieser Studie wird die Virtual-Reality-Plattform VR4Hydro vorgestellt, mit deren Hilfe das Gersprenz-Einzugsgebiet interaktiv erkundet werden kann. Ausgelöst durch die COVID-19-Pandemie und die daraus resultierenden Kontaktbeschränkungen können hydrologische Feldkenntnisse nun als Bestandteil der hydrologischen Ausbildung und Forschung anstelle von oder ergänzend zu Exkursionen in hydrologische Forschungsgebieten vermittelt werden. Die Veröffentlichung diskutiert die Anwendbarkeit von virtuellen Exkursionen im Kontext der hydrologischen Universitätslehre. Die Auswertung von Nutzererfahrungen am Beispiel von Studierenden des Faches Ingenieurhydrologie zeigte das große Interesse am Einsatz von virtuellen Exkursionen als wertvolle Ergänzung zu realen Exkursionen.

Education and Information Technologies

Virtual field trips in hydrological field laboratories: The potential of virtual reality for conveying hydrological engineering content

Paula Farina Grosser · Zhongxin Xia · Jannik Alt · Uwe Rüppel · Britta Schmalz

Received: 20 May 2022 / Accepted: 27 October 2022

Abstract
With the start of the COVID-19 pandemic and the resulting contact restrictions, conducting field trips to hydrological research basins became close to impossible. Hydrological field knowledge is an essential part of hydrological education and research. In order to impart this knowledge to students of hydrological engineering subjects in times or situations where on-site exploration is not possible, the VR4Hydro tool was developed. VR4Hydro is a virtual reality platform built from 360° panoramas that allows users to interactively explore the Gersprenz River basin in Germany. The following study seeks to investigate the applicability of performing virtual field trips in the context of hydrological education by evaluating user experience. Sixteen students of the subject engineering hydrology were asked to document their experiences with VR4Hydro using a qualitative approach by answering a series of multiple choice questions as well as long answer text questions. The analysis and discussion of the results showed that virtual excursions generally met with great interest among users. The majority rated the virtual tour as a valuable addition to traditional teaching methods. All students found the tool particularly appealing in cases where external circumstances did not allow for a real excursion. The findings of this study show that the application of virtual field trips (VFTs) in hydrological engineering can be a valuable supplement to real field trips to improve the interest and learning outcome of students.

Keywords Virtual reality · Augmented reality · Field trips · Hydrology · Education

Extended author information available on the last page of the article

Published online: 28 November 2022

Springer

Posterpräsentationen:

- Nersissian, L. & Schmalz, B. (2023): Einfluss von Kenngrößen auf die Bestimmung des abflusswirksamen Niederschlags und der Infiltration. Tag der Hydrologie 2023. 22.-23.03.2023. Bochum. Poster. *DHG-Posterpreis 2023*.

Vorträge:

- 23.10.2023: Schmalz, B.: Hydrological extremes in a South Hessian field lab. PhD Seminar des Chair of Hydrology and River Basin Management an der Technischen Universität München.
- 02.06.2023: Schmalz, B.: Research activities in the ihwb field laboratory and in further inter-/ national study areas. Sino-German Seminar “Simulating runoff and water quality under changing climate”. 02.06.2023. TU Darmstadt, Darmstadt.

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 und Wasserverband Gersprenzgebiet sowie der Initiative ‚Fischbachtal kreativ‘. Unser Dank gilt auch allen Anwohner*innen und Eigentümer*innen für die Möglichkeit, auf ihren Grundstücken Untersuchungen durchführen zu können.

Forschung und Vernetzung

emergenCITY

Hoch- und Niedrigwasser-Vorhersage- und Warnsystem mit kooperativer Governance

Projektförderer: LOEWE-Forschungsförderungsprogramm

Einführung

"Das LOEWE-Zentrum emergenCITY forscht seit 2020 an resilienten Infrastrukturen digitaler Städte, die auch Krisen und Katastrophen standhalten. emergenCITY ist als interdisziplinäre und standortübergreifende Kooperation organisiert, an der die Partneruniversitäten Technische Universität Darmstadt, Universität Kassel und Philipps-Universität Marburg beteiligt sind. Darüber hinaus sind die assoziierten Partner das Bundesamt für Bevölkerungsschutz und Katastrophenhilfe (BBK) und die Stadt Darmstadt in das Zentrum eingebunden." (https://www.emergencity.de)

Wissenschaftler*innen aus Informatik, Elektrotechnik und Informationstechnik, Maschinenbau, Bau- und Umweltingenieurwissenschaften, Gesellschafts- und Geschichtswissenschaften, Architektur, Wirtschafts- und Rechtswissenschaften entwickeln gemeinsam und interdisziplinär Lösungen in übergreifenden Forschungsmissionen. Dabei sind sie in die Programmbereiche Stadt und Gesellschaft (SG), Information (INF), Kommunikation (KOM) und Cyber-physische Systeme (CPS) eingeteilt.

Das ihwb beteiligt sich seit Juni 2022 an CPS. Die übergeordnete Forschungsfrage in CPS lautet: Wie kann die Widerstandsfähigkeit digitaler Städte durch cyber-physische Systeme verbessert werden, um ein besseres Bewusstsein für eine Krisensituation zu schaffen? Das Ziel des ihwb-Teilprojekts ist es, ein Konzept für ein Umweltmonitoring- und Warn-System für eine frühzeitige Einschätzung und Warnung vor Überschwemmungen und Niedrigwasser auf der Grundlage von Echtzeit-Messdaten mit Datenfusion aus verschiedenen Quellen mittels künstlicher Intelligenz zu entwickeln. Dazu erfolgt eine enge Kooperation mit SG, um unter Berücksichtigung von kooperativer Governance Notfallpläne, Nachbarschaftshilfe usw. zu entwickeln. Durch gemeinsame Planung wird methodisch ein intelligentes Kommunikationssystem zur Übermittlung von Daten und Alarmstufen an Behörden, Rettungsdienste und Bürger entwickelt.

Hydrologisches Modell und Testgebiet

In der ersten Projektphase wurde mit Fokus auf den Themenbereich Starkregen und Überschwemmungen das südhessische Schwarzbach-Einzugsgebiet mit seinem Pegel Nauheim (Landkreis Groß-Gerau) als Testgebiet ausgewählt (Abbildung 47). Nach umfangreicher Datenrecherche und -aufbereitung (Tabelle 3) wurden erste hydrologische Modell-Simulationen mit HEC-HMS durchgeführt (Koopaeidar & Schmalz, 2023). Unter Betrachtung des gesamten Einzugsgebietes wurden so mit Hilfe des kalibrierten Modells die Abflussbildung und die resultierenden Abflüsse für ausgewählte

Tabelle 3: Daten für den Aufbau des hydrologischen Modells

Niederschlag	1993-2023, 10-Minuten-Auflösung, DWD Station Frankfurt/M. (Flughfn.) (ID 1420)
Abfluss	1985-2023, 15-Minuten-Auflösung, Pegel Nauheim, HLNUG (ID 23980353)
Ereignisse	Starkregen-Ereignisse 06/2013, 08/2012, 07/2004 und 05/2000
Flächendaten	DGM1 (HVBG), ATKIS (HVBG), Boden (HLNUG)

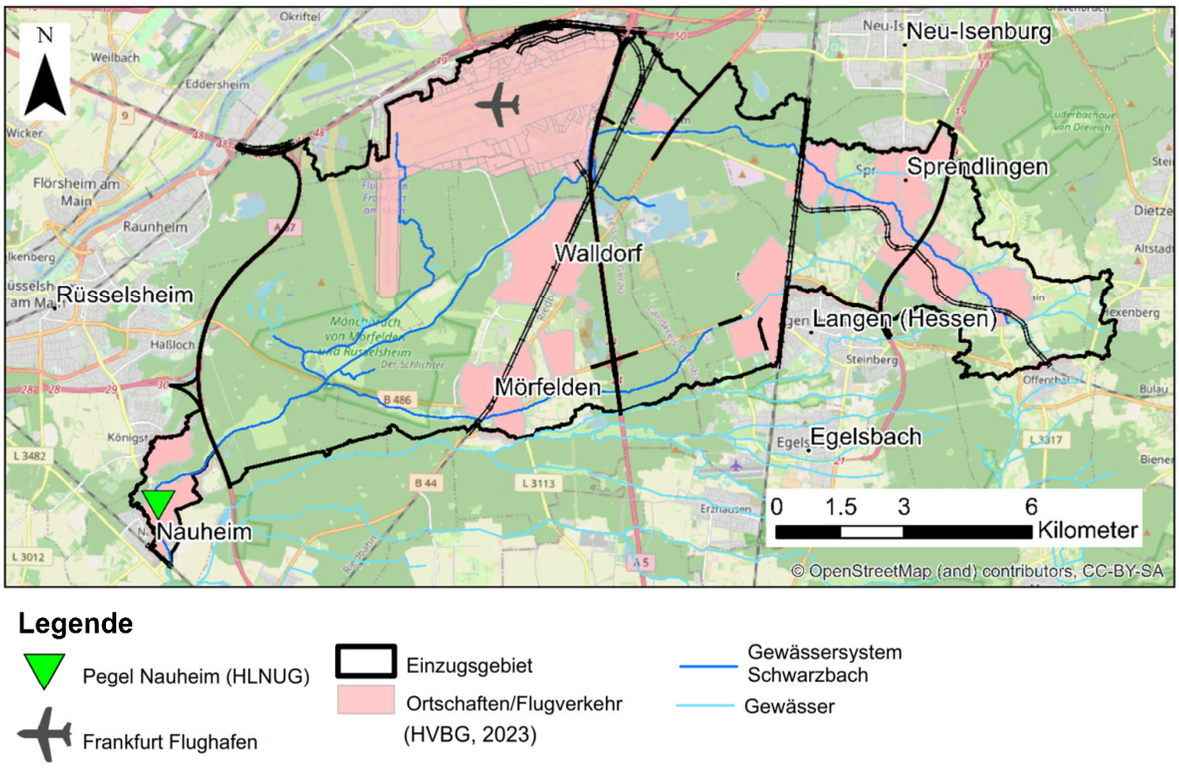


Abbildung 47: Schwarzbach-Einzugsgebiet bis Pegel Nauheim

Starkregenereignisse abgebildet. Dies kann dann künftig als Basis für die Abschätzung von Sturzfluten, also pluvialen Überschwemmungen, aber auch Flusshochwässern genutzt werden, die dann wiederum zur Entwicklung eines Hochwasserrisikomanagements dienen soll. Aufbauend auf Echtzeit-Messdaten, hydrologischen Modellen und KI-Methoden beinhaltet dies auch die Verringerung von Schäden durch frühzeitige Warnung sowie vorbereitete und abgestimmte Maßnahmenplanung.

Weitere Methoden

Neben der hydrologischen Modellierung kommen KI-Methoden zum Einsatz. Zunächst wurden verschiedene Datenanalysen durchgeführt, und dann unterschiedliche Methoden und Modelle angewendet. Die Ergebnisse einer aktuellen Modellentwicklung werden auf den Seiten 57-58 vorgestellt.

Zur Analyse der vorhandenen Konzepte vor Ort und der Kenntnisse über das Bewusstsein der Akteure über vergangene und mögliche künftige Extremereignisse wurden im Rahmen einer Masterarbeit Interviews in Mörfelden-Walldorf durchgeführt. Die Stadt ist Teil des Testgebiets und Partner von emergenCITY. Eine Kurzfassung findet sich auf den Seiten 6-7.

Ausblick

Im nächsten Schritt wird neben der Weiterentwicklung des hydrologischen Modells in Kooperation mit dem Institut für Geschichte eine gemeinsame Auswertung historischer Daten vorgenommen, um auf zukünftige Katastrophen vorbereitet zu sein. Darüber hinaus wird mit dem Institut für Politikwissenschaften weiter an einem Konzept für ein gut organisiertes Katastrophenmanagement gearbeitet.

Literatur

Koopaeidar, M. & Schmalz, B. (2023): Concept of a smart environmental monitoring and flood warning system. 2. emergenCITY week. 12.-15.06.2023. TU Darmstadt. Poster.

Enhancing Urban Resilience with the Novel ARMA-iGARCH Hybrid Model in the Face of Climate Challenges

Mahshid Khazaeiathar, M.Sc.

Projektförderer: LOEWE-Forschungsförderungsprogramm

ARMA-iGARCH

“How can the resilience of digital cities be improved through cyber-physical systems in order to create better awareness of a crisis situation?”

Utilizing artificial intelligence methodologies to model river behavior can represent a viable approach to address the ihwb sub-project inquiry. The precision and significance of artificial intelligence modeling have been proven, offering unparalleled insights and predictive capabilities for a wide range of complex applications. Within the scope of the ihwb sub-project dedicated to the environmental monitoring and early warning system for flood and low-flow events, a substantial initiative was launched to enhance the capabilities by developing a novel data-driven hybrid model designed for the precise river behavior recognition.

This introduced model is a hybrid of two data-driven models, the AutoRegressive Moving Average (ARMA) family and the Generalized AutoRegressive Conditional Heteroscedasticity (GARCH) family.

It is denoted as ARMA-iGARCH and it aims to capture both:
- temporal dependencies, accomplished through ARMA part
- and the volatility clustering effectively managed by the iGARCH component
which are inherent in time series data.

The ARMA-iGARCH model has consistently demonstrated exceptional precision in this project, effectively discerning and identifying fluctuations in the data.

With a specific focus on heavy rain and flooding, four distinct events were selected from a 36-year time frame, and the ARMA-iGARCH model was meticulously applied to each of these events.

Abbildung 48 depicts the graphical representations of the fitted models within a tight ±1% tolerance. Evidently, the novel data-driven hybrid model exhibits a commendable proficiency in accurately capturing and discerning fluctuations in the data. These precise graphical representations provide valuable visual insights into the ARMA-iGARCH model's exceptional predictive capabilities, further bolstering its potential as a powerful resource for informed decision-making in the realm of environmental monitoring and crisis awareness.

Abbildung 49 shows the empirical density of standardized residual series of ARMA-iGARCH. Residual series, the differences between observed values and model predictions, provide insights into the efficacy of applied models and offer opportunities for enhancing predictive accuracy. An optimally fitted model should, ideally, produce residuals devoid of any discernible pattern, signifying the model's adeptness at effectively capturing the inherent data structure. Judging from the bell-shaped curves in the graphs, it is reasonable to infer that the residual series in all four events follow to a normal distribution, without any pattern.

The exceptional accuracy and proficiency exhibited by the ARMA-iGARCH model in recognizing fluctuations within time series data hold promise for enhancing early warning systems in the context of heavy rain and flooding. These findings have far-reaching implications for urban planning and disaster management, offering a valuable tool for crisis awareness and response. The research represents a critical step towards building more resilient and adaptive digital cities in the face of evolving climate challenges. Furthermore, it provides a foundation for ongoing collaboration with stakeholders and policymakers to implement data-driven strategies for safeguarding urban environments. In doing so, we can ensure that our cities are well-prepared to face the uncertainties of the future.

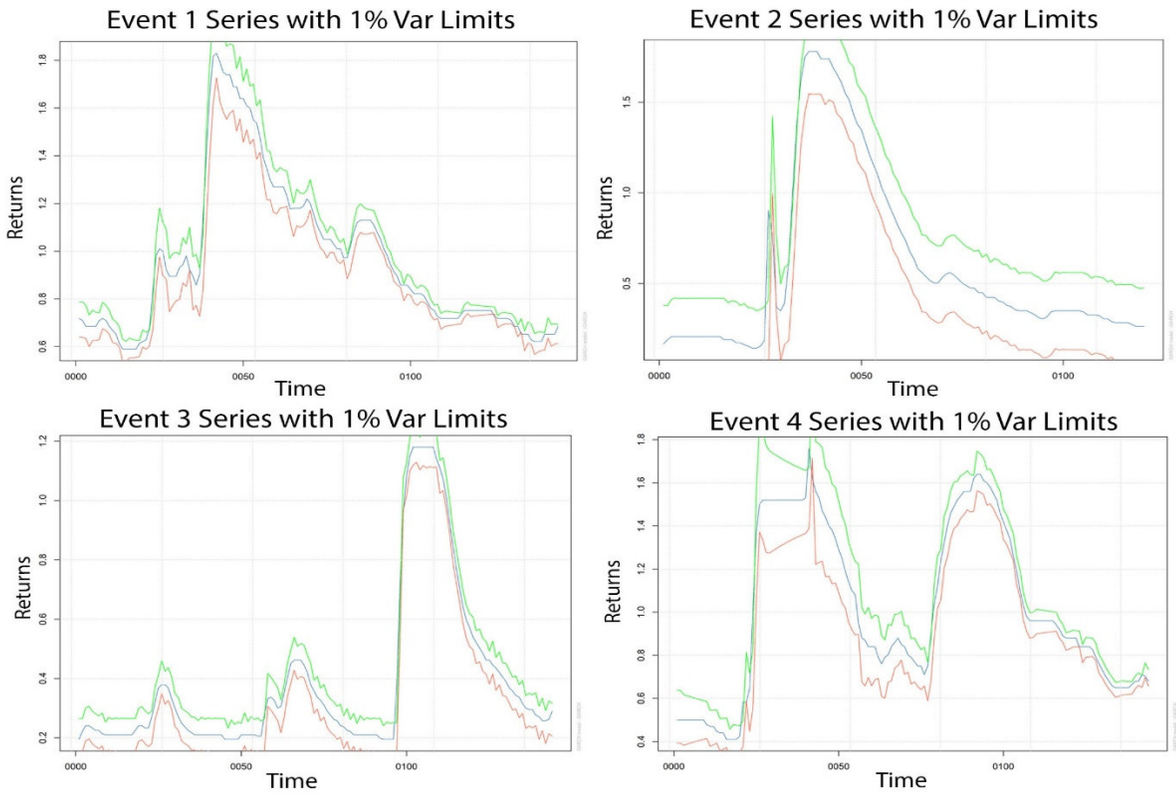


Abbildung 48: Graphical illustrations of the ARMA-iGARCH fitted model on four events

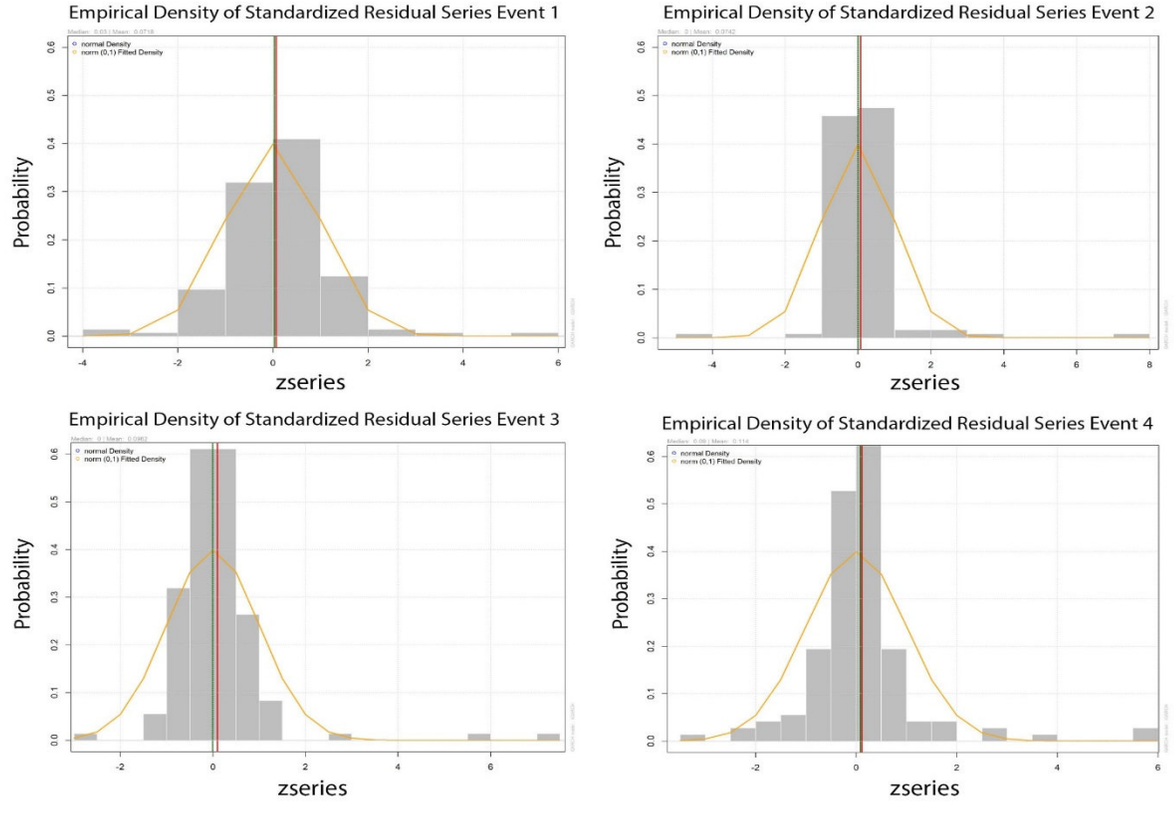


Abbildung 49: Empirical Density of Standardized Residual Series

LID-Maßnahmen hätten urbane Räume vor langer Zeit schon zu „Schwämmen" transformieren können – wie groß kann ihr Einfluss unter sich ändernder Bebauungsdichte und dem Klimawandel (noch) sein?

Helene Schmelzing, M.Sc.

Bisher wurden wenige Ergebnisse zur Effektivität grüner Infrastrukturmaßnahmen im städtischen Raum veröffentlicht, die auf Langzeit-Monitoring in der Region Mitteleuropa fokussiert sind und die Veränderungen durch den Klimawandel berücksichtigen. Außerdem gibt es bisher kaum Untersuchungen in dem Bereich, welche auf die hydrologischen Veränderungen auf der Basis einer sich verändernden Bebauungsdichte innerhalb urbaner Räume abzielen.

Im Rahmen des Dissertationsvorhabens werden im ersten Schritt jeweils ein Einzelevent und eine 5-Jahreszeitreihe aus Vergangenheit und Zukunft im hypothetischen Untersuchungsgebiet implementiert und die Möglichkeit von Low Impact Development (LID) Maßnahmen, sich unter variierender Bebauungsdichte der „natürlichen" Wasserbilanz wieder anzunähern, untersucht. Zur Simulation wird die auf einem hydrologisch-hydraulischen Modell basierende Software $SWMM_5$ der US-Umweltbehörde EPA verwendet.

Gegenstand des Untersuchungsgebietes ist ein Wohnblock von knapp 0,85 Hektar, für den die hydrologischen Veränderungen durch LID-Maßnahmen mit Klimadaten aus dem Bereich Südhessen (Frankfurt a. Main) simuliert werden. Die Bebauungsdichte der drei Designszenarien variiert von 40 - 75%, mit einer LID-Kontrolle von 10 - 85%.

Erste Ergebnisse liegen zu den historischen Zeitreihen nun vor, welche im nächsten Schritt mit vom DWD veröffentlichten Klimaprojektionen für den Zeitraum 2093-2097 verglichen werden sollen.

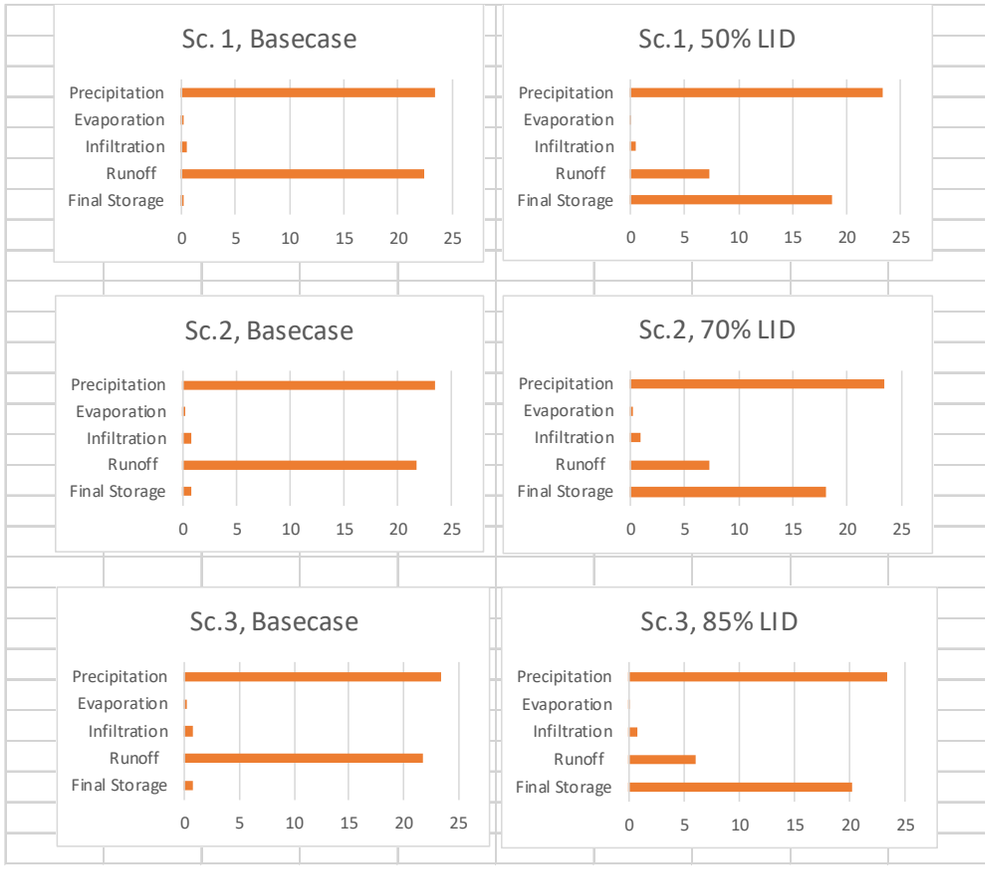


Abbildung 50: Effizienz maximaler LID Implementierung innerhalb der drei Szenarien mit variierender Bebauungsdichte. Bebauungsdichte: Szenario 1: 75%, Szenario 2: 40%, Szenario 3: 50%.

So konnten für ein etwa zweistündiges Regenereignis (08/2001) durch die maximale Implementierung von LID-Maßnahmen die in Abbildung 50 dargestellten positiven Effekte auf die Wasserbilanz erzielt werden.

Die Simulation liefert für Langzeituntersuchungen Trends hinsichtlich der Steigerung der Infiltration in tiefere Bodenschichten sowie der Abschwächung der städtischen Wärmeinseln; die Ergebnisse von Einzelereignissen scheinen eine besondere Aussagekraft bezüglich der direkten Speicherkapazität der jeweiligen LID-Maßnahme aufzuzeigen:

Abbildung 51 veranschaulicht die anteilige Speicherung am gesamten gefallenen Niederschlag (inklusive initialer Sättigung / Speicherfülle) hinsichtlich der drei Szenarien mit maximaler Implementierung: So kann insbesondere für das (zukünftig häufig vorhandene) stark versiegelte Gebiet mit einer Installation von LID auf „nur“ 50% der Fläche bereits eine Speicherung von über 79% erreicht werden, welche zumal kaum zeitverzögert einsetzt und eine direkte Nutzung des Wassers ermöglicht.

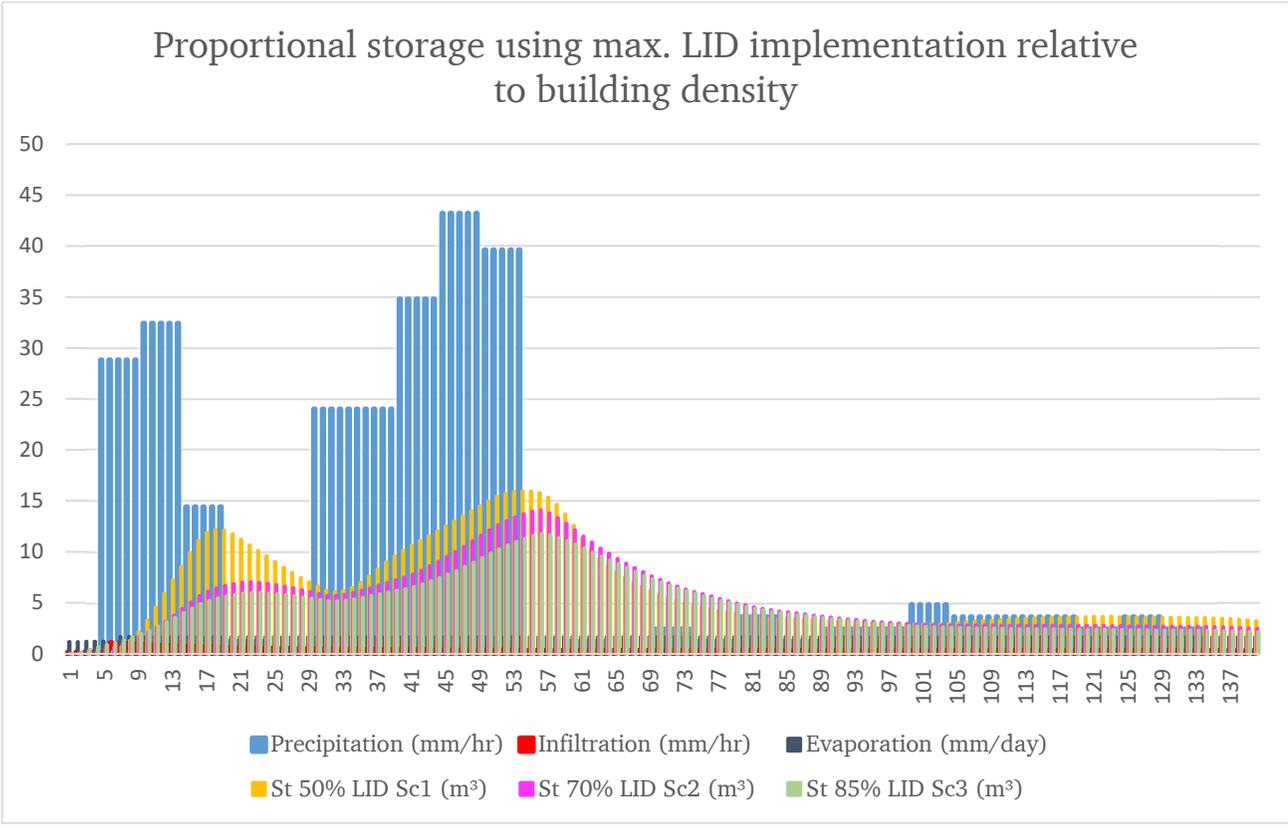


Abbildung 51: Speicherung unter maximaler LID-Installation für die drei Designszenarien.

Im Folgenden wird mittels Climate Data Operators (CDOs) eine Datenaufbereitung der vom DWD zur Verfügung gestellten Klimaprojektionsdaten für Deutschland für den Zeitraum „ferne Zukunft“ (2071-2100) durchgeführt, wobei die Rohdaten von NetCDF in CSV und ASCII/Text transformiert werden und als Zeitreihen dann in $SWMM_5$ für die Simulationen eingelesen werden können.

Die räumliche Auflösung der Rohdaten liegt bei 5 km, und betrachtet werden Niederschlag und Temperatur unter dem vom IPCC festgelegten Repräsentativen Konzentrationspfad (RCP) 8.5 („Weiter-so-wie-bisher-Szenario“). Hierbei wird ein Ensemble aus sechs einzelnen, aufeinander aufbauenden Modellen samt deren Datensätze benutzt, um die gesamte Bandbreite potentiell eintretender Klimaveränderungen abzubilden (Szenario > globales Klimamodell > regionales Klimamodell).

Da sich durch den Klimawandel stark veränderte hydrologische Muster ergeben, ist es das Ziel, die gewählte 5-Jahres-Zeitreihe zwischen 2093-2097 für das fiktive Gebiet zu simulieren und innerhalb dieser Reihe ein Einzelereignis von besonderem Ausmaß auszuwählen, welches hinsichtlich der Auswirkungen unter LID-Implementierung untersucht wird. Die LID-Kontrollen müssen dem deutlich höheren Peak der (mit steigender Häufigkeit auftretenden) Niederschlagsereignisse mit in kürzerer Zeit entstehendem Gesamtvolumen standhalten können.

Die Ergebnisse dieser Untersuchung können als Leitfaden für Städteplaner, Ingenieure sowie Konstrukteure dienen, wenn es darum geht, schon auf der kleinsten lokalen Skala „Wohnviertel“ Wasser unter den Veränderungen von Klimawandel und Verdichtung im System „Schwamm“ zu halten, das Stadtklima zu verbessern sowie Gefahren durch Extremereignisse für Mensch, Natur und Infrastruktur so gering wie möglich zu halten.

Eco-hydrological Functioning of a Riverine System in a Changing Catchment and Climate Context

Julius Kollongei, Ph.D.

Project funding: Alexander von Humboldt-Stiftung, Germany,
Georg Forster Research Fellowship for Experienced Researchers

Home university: University of Eldoret, Kenya

Introduction

This study aims to assess and monitor pollution loading in the River Sosiani Catchment in Eldoret City, Kenya, which drains into Lake Victoria, the largest freshwater body in East Africa (Abbildung 52). Surface water pollution is a significant concern in developing countries, particularly Africa, due to the unabated tendency of discharging effluent without enforcing minimum standards. Rivers in Kenya experience high pollution levels from municipal and industrial point sources, as well as non-point sources resulting from agriculture, erosion, and other commercial activities. Controlling water pollution from agriculture is difficult due to its diffuse nature, unpredictable sources, and dependence on rainfall patterns, land slope, and soil characteristics. The study involves stream flow measurements, water quality tests, and modelling to investigate the degradation of river water quality and find ways to revert this trend. The GIS-linked ArcSWAT and instream QUAL2K models are applied to simulate catchment hydrology and instream water quality in the River Sosiani Catchment, identifying the causes of changes in water quality and identifying criteria to prevent the deteriorating trend.

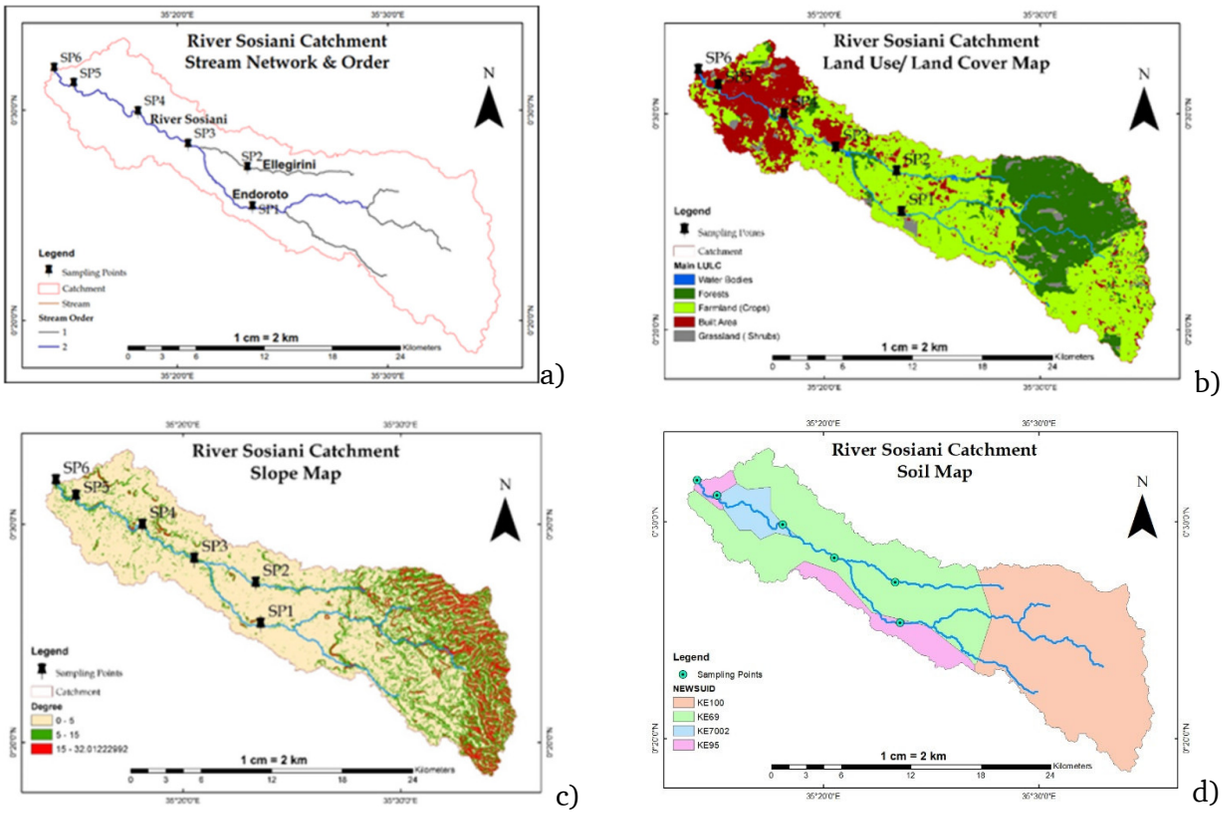


Abbildung 52: (a) River Sosiani Catchment, 368.65 km², (b) Farmland 55%, Forest 26% and Urban Area 19%, (c) Sampling points SP1, SP2, SP3, SP4, SP5 & SP6 and Slope, (d) Soil Types KE100 (Nitisols-Humic, 35%), KE69 (Ferralsols-Haplic, 57%), KE7002 (Nitisols-Dystric, 0.5%) & KE95 (Gleysols -Eutric, 7.5%)

Preliminary Findings; Spatiotemporal variation of River Sosiani water quality

The water quality parameters measured in the year 2023 include Dissolved Oxygen (DO), Temperature, Biological Oxygen Demand (BOD), Nitrate-Nitrogen (NO_3-N), Orthophosphate (P), Total Dissolved Solids (TDS), and Electrical Conductivity (EC) (Abbildung 53).

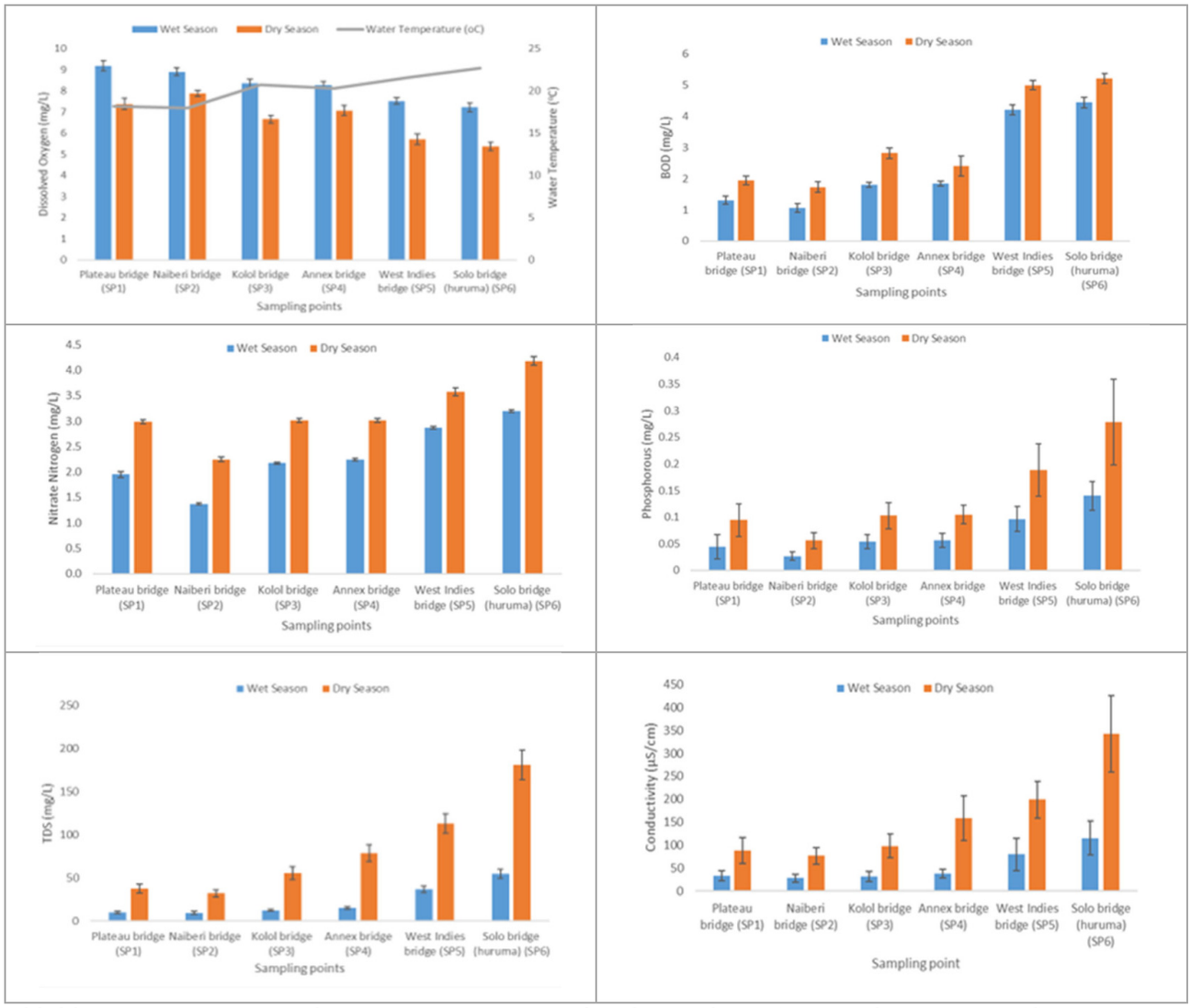


Abbildung 53: Water Quality (WQ) parameters for dry (Feb-Mar'23) and wet (Apr-Jul'23) seasons; DO (mg/l), Temperature (°C), BOD (mg/l), NO_3-N (mg/l), P (mg/l), TDS (mg/l) and EC (µS/cm)

The River Sosiani experiences significant temporal variations in DO levels during dry and wet seasons, with higher levels in wet seasons due to lower temperatures. High levels of BOD downstream are attributed to industrial, municipal, and domestic effluent discharge. NO_3-N levels increase downstream due to inadequately treated point source effluents, while P levels are attributed to discharge of municipal waste. EC concentration increases with higher water temperatures and increasing nutrient input from diffuse and point sources, and TDS increases significantly from upstream to downstream. High TDS levels in downstream are attributed to industrial and municipal effluent discharge, while upstream activities are minimal, resulting in low TDS concentrations.

Conclusions

The River Sosiani's water quality deteriorates downstream due to industrial and municipal effluent discharge. Wet season variations are attributed to increased surface runoff, while dry seasons show higher concentrations of WQ parameters, some of which are WHO permissible.

Auswirkungen des Klimawandels auf die Wasserqualität von Stauseen - Entwicklung möglicher hybrider Managementstrategien zur Abschwächung der Auswirkungen der Klimaerwärmung

Mohsen Dehghani Darmian, PhD. Postdoc Researcher

Projektförderer: Alexander von Humboldt-Stiftung (Internationales Klimaschutzstipendium)

Projektpartner: Ministerium für Energie (Iran), Institut für Wasserforschung

Staudämme an Flüssen sorgen für eine zuverlässige Wasserversorgung, verändern aber auch das ökologische Gleichgewicht im Ökosystem erheblich. Obwohl Stauseen oft als "grüne" oder kohlenstoffneutrale Energiequellen angesehen werden, tragen sie bereits jetzt mit etwa 1,3 % (das entspricht fast einer Gigatonne) zu den jährlichen, vom Menschen verursachten Treibhausgasemissionen (GHGE), bei - das ist etwa so viel wie von der kanadischen Bevölkerung. Die Gasproduktion steigt aufgrund der langfristigen thermischen Schichtung der Reservoirs und der Eutrophierung. Sie geht einher mit der Zersetzung abgestorbener Algen, Sauerstoffmangel und einer Verschlechterung der Wasserqualität, was auch negative wirtschaftliche Folgen hat. Die Klimaerwärmung, die die thermische Schichtung der Stauseen verstärkt, führt zu einem Anstieg der GHGE und der Gefahr von Anoxie in der unteren Wasserschicht. Daher sind Modelle für das Qualitäts- und Quantitätsmanagement von entscheidender Bedeutung, damit Staudämme unter den Bedingungen des Klimawandels effizient funktionieren.

Viele große Staudämme rund um den Globus leiden unter einer Verschlechterung der Wasserqualität. Der Klimawandel und die Strategien der Wasserwirtschaft können die Eigenschaften der Stauseen (physikalisch, biogeochemisch und ökologisch) erheblich beeinflussen. Das Fehlen einer ausreichenden Sammlung historischer Daten (Qualitäts- und Quantitätsdaten) macht es unmöglich, das aktuelle Verhalten dieser Stauseen zu simulieren und ihre Zukunft vorherzusagen. Die Rappbode-Talsperre mit ihrer umfangreichen historischen Datensammlung wurde als Untersuchungsgebiet ausgewählt, um verschiedene Wassermanagementszenarien mit Hilfe eines ganzheitlichen Management-Metamodells zu analysieren (Abbildung 54). Die Rappbode-Talsperre ist die größte Trinkwassertalsperre Deutschlands und versorgt 1 Million Menschen mit Wasser. Ein hydrodynamisches Modell namens CE-QUAL-W2 und KI-Methoden werden in dieser Studie verwendet, um den Prozess zu simulieren. Das erste Hauptziel dieser Studie ist die Analyse der Auswirkungen selektiver Wasserentnahmen auf die thermische Schichtung, Eutrophierung, Sauerstoffverarmung und hydrochemischen Reaktionen in aktuellen und zukünftigen Jahren. Das zweite Ziel ist die Auswahl der optimalen Wasserentnahmestrategie (optimierte Kombination aus Tiefen- und Oberflächenwasserentnahme), die die Auswirkungen der Klimaerwärmung unter verschiedenen Stauseebedingungen abmildern könnte. Es wird erwartet, dass die Ergebnisse dieser Studie für Betreiber von Großstaudämmen und Entscheidungsträgern von Nutzen sein werden. Durch die Entwicklung eines umfassenden Metamodells werden die Ergebnisse dieser Untersuchung nicht nur für die Rappbode-Talsperre relevant sein, sondern auch für andere Talsperren auf der ganzen Welt gelten und übertragbar sein.

Abbildung 54: Untersuchungsgebiet: Rappbode-Talsperre, Deutschland (www.tereno.net)

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 nun wieder ihre Aktivitäten in Präsenz aufnehmen. So fanden die ersten gegenseitigen Besuche und Seminare wieder in China und Deutschland statt. Folgende Veranstaltungen wurden im Jahr 2023 (bis Okt. 2023) durchgeführt:

- 02.06.2023 Seminar „Simulating Runoff and Water Quality under Changing Climate“ an der TU Darmstadt
- 06.10.2023 Seminar “Climate Risks and Adaptation” an der TU Darmstadt

Abbildung 55: Teilnehmende an den beiden Chinesisch-Deutschen Veranstaltungen an der TU Darmstadt

Foreign expert program

Im September 2022 wurde ein Förderantrag zum Thema „*Impacts and mechanisms of flow regime change on aquatic biodiversity*“ bewilligt. Antragsteller war Prof. Dr. Naicheng Wu von der Ningbo University, China. In diesem Programm wird der Austausch von ausländischer Experten verschiedener Länder durch das MOST (Ministry of Science and Technology of China) unterstützt. Prof. Schmalz wurde als eine der Expert*innen im Förderinstrument benannt. Weitere Expert*innen kommen von der University of California in Riverside/USA, University of Lodz/Polen, Adam Mickiewicz University in Poznań/Polen, Kiel University/Deutschland und Aarhus University/Dänemark.

Am 15. Dezember 2022 fand dann der erste gemeinsame Workshop digital statt. Über 130 Teilnehmende folgten den Präsentationen der sechs eingeladenen Redner*innen und diskutierten über zukünftige gemeinsame Aktivitäten, vor allem über den Austausch von Studierenden.

Prof. Schmalz hat sich mit folgender Präsentation eingebracht:

- 15.12.2022: Schmalz, B.: Studies on hydro-climatological extremes using historical data and climate change projections. The 1st international workshop on "Ecological security under hydro-climatological extremes”. Ningbo University, China. Online.

Evaluation of Transformer model and Self-Attention mechanism in the Yangtze River basin runoff prediction

Xikun Wei

Project funding: China Scholarship Council

Home university: Nanjing University of Information Science and Technology

The study area

The Yangtze River is the third-longest river in the world and the longest one in Asia. The basin covers an area of approximately 1.8 million km^2 (Abbildung 56). The Yangtze River basin has a predominantly subtropical monsoon climate. The annual rainfall is about 1100 mm/a, and approximately 70 % - 90 % of rainfall occurs from May to October. Due to global warming, the strong convective events have increased in recent years, leading to an increase in the frequency of flood disasters in the basin. The Datong station is one of the most important hydrological stations in the Yangtze River as it measures the discharge of the Yangtze River into the sea. The mean annual discharge at the station is about 2.81×10^5 m^3/s.

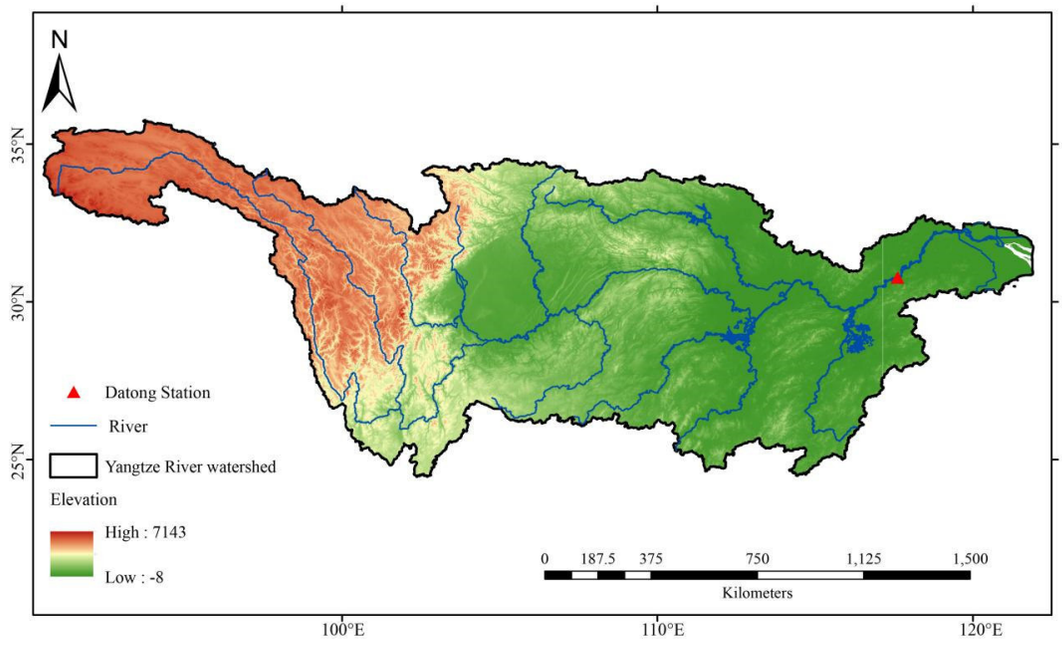


Abbildung 56: The elevation of the Yangtze River basin and the location of Datong station.

Study focus

We applied a recently popular deep learning (DL) algorithm, Transformer (TSF), and two commonly used DL methods, Long-Short-Term Memory (LSTM) and Gated Recurrent Unit (GRU), to evaluate the performance of TSF in predicting runoff in the Yangtze River basin. We also add the main structure of TSF, Self-Attention (SA), to the LSTM and GRU models, namely LSTM-SA and GRU-SA, to investigate whether the inclusion of the SA mechanism can improve the prediction capability. Seven climatic observations (mean temperature, maximum temperature, precipitation, etc.) are the input data in our study. The whole dataset was divided into training, validation and test datasets. In addition, we investigated the relationship between model performance and input time steps.

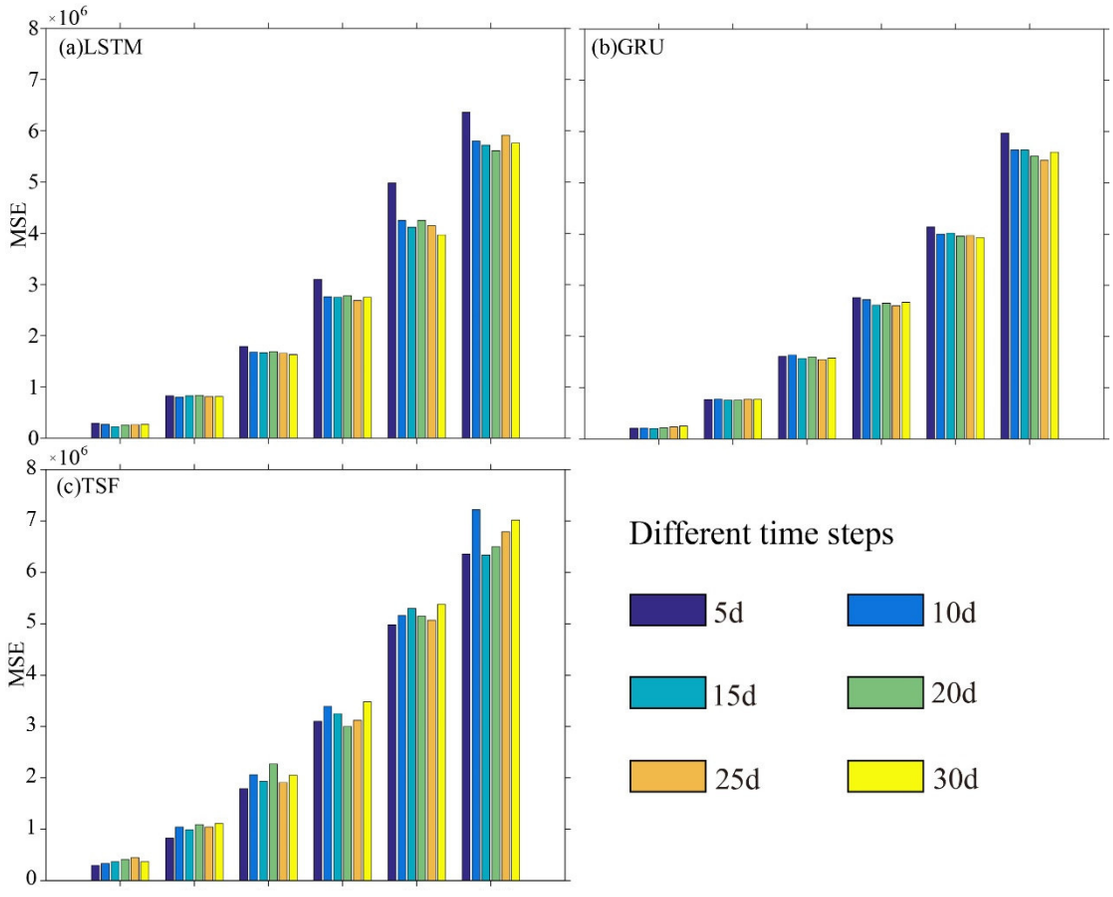


Abbildung 57: MSE values of (a) LSTM, (b) GRU and (c) TSF model with different input time steps and prediction lengths from the testing data. The X-axis represents the different prediction lengths of 1 d, 3 d, 5 d, 7 d, 9 d and 11 d, respectively

New hydrological insights

Our experimental results show that the GRU has the best performance with the fewest parameters while the TSF has the worst performance due to the lack of sufficient data (Abbildung 57). GRU and the LSTM models are better than TSF for runoff prediction when the training samples are limited (such as the model parameters being ten times larger than the samples). Furthermore, the SA mechanism improves the prediction accuracy when added to the LSTM and the GRU structures. Different input time steps (5 d, 10 d, 15 d, 20 d, 25 d and 30 d) are used to train the DL models with different prediction lengths to understand their relationship with model performance, showing that an appropriate input time step can significantly improve the model performance.

Reference:

Wei, X., Wang, G., Schmalz, B., Hagan, D.F.T. & Duan, Z. (2023): Evaluate Transformer model and Self-Attention mechanism in the Yangtze River basin runoff prediction. Journal of Hydrology: Regional Studies 47, June 2023, 101438: 13 p. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101438.

Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG)

Die Deutsche Hydrologische Gesellschaft (DHG) ist eine wissenschaftliche Gesellschaft und ein Zusammenschluss der auf dem Gebiet der Hydrologie und ihrer Anwendungsbereiche Tätigen. Ziel ist die Förderung von Wissenschaft, Forschung und Berufsbildung im Bereich der Hydrologie. Als Kommunikationsplattform, durch fachliche Arbeitsgruppen sowie Organisation von Konferenzen und 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.

Auch im Jahr 2023 hat die DHG unter der Leitung ihrer Präsidentin Frau Prof. Schmalz aktiv beim "Tag der Hydrologie" (TdH), der größten deutschsprachigen Hydrologiekonferenz, mitgewirkt, und dort u.a. den Deutschen Hydrologiepreis an Prof. Dr. Uwe Grünewald (Cottbus, Dresden; Abbildung 58), den DHG-Dissertationspreis an Dr. Erwin Rottler (Universität Potsdam) sowie die TdH-Posterpreise vergeben. Zudem wurden im Jahr 2023 sieben Feldstipendien gefördert.

Abbildung 58: Verleihung des Deutschen Hydrologiepreises 2023 an Prof. Dr. Uwe Grünewald

Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB)

Die Vernetzung und Zusammenarbeit von kleinen hydrologischen Einzugsgebieten wird auf europäischer Ebene durch das Euromediterranean Network of Experimental and Representative Basins (ERB) unterstützt. Die nationalen Repräsentanten, auch Frau Prof. Schmalz als deutsche Vertreterin, haben sich im Mai und Oktober 2023 online getroffen und die nächsten Aktivitäten sowie Meetings und Konferenzen besprochen.

Als Leiterin der deutschen ERB-Arbeitsgruppe hat Frau Prof. Schmalz zudem einige Aktivitäten auf nationaler Ebene initiiert, die zur weiteren Zusammenarbeit und Vernetzung von kleinen hydrologischen Einzugsgebieten geführt haben. Auch in 2023 wurde der Themenbereich Dürre und Trockenheit weiter bearbeitet. Dazu wurde auch auf dem Tag der Hydrologie 2023 ein Poster präsentiert.

- Schmalz, B., Dietrich, S., Gerngroß, P., Meesenburg, H., Miegel, K., Reinstorf, F., Rupp, H., Sutmöller J. & Ziese, M. (2023): Analyse der hydrologischen Folgen von Dürre und ihre regionalen Unterschiede. Tag der Hydrologie 2023. 22.-23.03.2023. Bochum. Poster.

Publikationen im Rahmen weiterer Vernetzung und Kooperation:

Acht begutachtete Publikationen sind im Zeitraum November 2022 bis Oktober 2023 erschienen, die durch internationale Kontakte und Diskussionen entstanden sind.

- **Anh, N.T., Can, L.D., Nhan, N.T., Schmalz, B. & Luu, T.L. (2023):** Influences of key factors on river water quality in urban and rural areas: A review. Case Studies in Chemical and Environmental Engineering 8: 100424, 12 p. DOI: 10.1016/j.cscee.2023.100424.

In diesem Review-Artikel werden Schlüsselfaktoren sowie zeitliche und räumliche Schwankungen der Wasserqualität in Fließgewässern ländlicher und städtischer Gebiete analysiert. Es werden natürliche Prozesse wie Gesteinsverwitterung, Klimawandel und Naturkatastrophen sowie anthropogene Faktoren wie Abwässer, landwirtschaftlichen Aktivitäten, Abholzung und Aquakultur als verursachende Faktoren zugeordnet. Die Studie fokussiert dabei auf ein breites Spektrum an Stoffen wie biologisch abbaubaren organischen Stoffen, Schwermetallen, Krankheitserregern, persistente Schadstoffe und pharmazeutische Wirkstoffe.

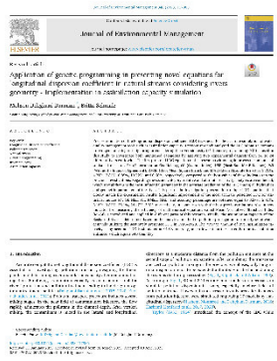
- **D'Ambrosio, R., Longobardi, A. & Schmalz, B. (2023):** SuDS as a climate change adaptation strategy: scenario-based analysis for an urban catchment in northern Italy. Urban Climate 51: 101596. DOI: 10.1016/j.uclim.2023.101596.

Urbanisierung und Klimawandel sind die Hauptursachen für den Anstieg des Hochwasserrisikos in städtischen Siedlungen. Nachhaltige Entwässerungssysteme (Sustainable Drainage Systems SuDS) sind wirksame Strategien zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit von Städten gegenüber Überschwemmungen. In der Regel sind sie jedoch auf historische Klimabedingungen bemessen. Die in dieser Studie beschriebene Modellszenarioanalyse zielt darauf ab, das Potenzial von SuDS als Anpassungsstrategie an einen prognostizierten mittelfristigen Klimawandel zu untersuchen. Als Fallstudie wurde Sesto Ulteriano (Metropolitanstadt Mailand, Norditalien) ausgewählt. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass SuDS zwar als wirksame Hochwasserschutzmaßnahme bestätigt werden konnten, ihr Anpassungspotenzial jedoch durch Änderungen im Niederschlag beeinträchtigt wird. Insbesondere der multivariable *Precipitation Variability Adaptation Index* PVAI, der der die Wirksamkeit der Anpassungsstrategie an Klimaveränderungen ermittelt, nimmt ab, wenn die Niederschlagshäufigkeit innerhalb desselben Klimaszenarios abnimmt oder wenn die Niederschlagsintensität aufgrund von Klimaveränderungen zunimmt.

- **Dehghani Darmian, M. & Schmalz, B. (2023):** Application of genetic programming in presenting novel equations for longitudinal dispersion coefficient in natural streams considering rivers geometry - Implementation in assimilation capacity simulation. Journal of Environmental Management 340: 117985. DOI 10.1016/j.jenvman.2023.117985.

Die präzise Abschätzung des Längsdispersionskoeffizienten (LDC) ist für die akkurate Simulation von Instrumentarien zur Bewirtschaftung der Wasserqualität, wie z. B. der Assimilationskapazität, von entscheidender Bedeutung. In der bisherigen Forschung wurde der LDC natürlicher Fließgewässer in zwei allgemeinen Kategorien analysiert: Vernachlässigung oder Berücksichtigung der Flusskrümmung (σ). Die genetische Programmierung (GP) wird in dieser Studie verwendet, um die beiden genannten Kategorien anhand zweier experimenteller Datensätze von 56 bis 24 verschiedenen Flüssen weltweit

zu untersuchen. Die erste vorgeschlagene LDC-Gleichung dieser Analyse (ohne σ) verbessert die Werte verschiedener statistischen Maße bis zu 13,7 % (RMSE) im Vergleich zu den besten Werten dieser Indikatoren in den früheren Untersuchungen. Für die zweite Kategorie werden relative und absolute Sensitivitätsanalysen durchgeführt, aus denen hervorgeht, dass σ unter allen hydraulischen und geometrischen Parametern des Flusses der einflussreichste Parameter für die genaue Vorhersage des LDC ist. In diesem Teil der Untersuchung werden vier individuelle LDC-Gleichungen vorgestellt, die mit den experimentellen Ergebnissen gut übereinstimmen. Die statistischen Indizes der hier exakt ermittelten LDC wurden im Vergleich zu den besten früheren Verhältnissen deutlich verbessert und betragen bis zu 35,1 % (RMSE). Außerdem wird ein neuer Indikator zur Messung der Effizienz von mathematischen Gleichungen, der so genannte *Mean Normalized Statistical Index* (MNSI), eingeführt und angewendet. Schließlich wird die Assimilationskapazität des Flusses Kashafrud (Iran) auf der Grundlage der analytischen Methode der Schadstoffausbreitung bestimmt. Sie ist viel niedriger ist als der derzeit veröffentlichte Schadstoffeintrag.


Journal of Environmental Management

- **Khazaeiathar, M., Hadizadeh, R., Fathollahzadeh Attar, N. & Schmalz, B. (2022):** Daily Streamflow Time Series Modeling by Using a Periodic Autoregressive Model (ARMA) Based on Fuzzy Clustering. Water 14(23), 3932. DOI: 10.3390/w14233932.

Das Verhalten der hydrologischen Prozesse ist aufgrund des Einflusses klimatischer Faktoren periodisch und stochastisch. Daher ist es von entscheidender Bedeutung, Modelle zu entwickeln, die die Periodizität und den stochastischen Charakter der Vorhersage berücksichtigen. Darüber hinaus ist die Vorhersage des Abflusses als einer der Hauptbestandteile des hydrologischen Zyklus ein wichtiges Thema. In dieser Studie wurde eine statistische Methode, Fuzzy C-means clustering, verwendet, um die Periodizität in den täglichen Abflusszeitreihen zu identifizieren, während der autoregressive gleitende Durchschnitt (ARMA) für die Modellierung der einzelnen Cluster verwendet wurde. Die Innovation dieser Studie besteht darin, die täglichen Abflusszeitreihen aufgrund ihres ähnlichen statistischen Verhaltens in kleinere Gruppen aufzuteilen, indem eine statistische Analysemethode und eine Kombination aus Fuzzy-C-Means-Clustering und ARMA-Modellierung verwendet wird. Dazu werden tägliche Abflussdaten (2000 bis 2017) von vier verschiedenen Fließgewässermessstationen in Hessen verwendet. Die Ergebnisse zeigten, dass die Leistung von ARMA an den vier Stationen für die Vorhersage jedes Clusters zuverlässig war. Zudem ist durch die Clusterung der täglichen Abflusszeitreihen in kleinere Gruppen die Vorhersage verschiedener Tage des Jahres möglich.

water

Daily Streamflow Time Series Modeling by Using a Periodic Autoregressive Model (ARMA) Based on Fuzzy Clustering

- **Wei, X., Wang, G., Schmalz, B., Hagan, D.F.T. & Duan, Z. (2023):** Evaluate Transformer model and Self-Attention mechanism in the Yangtze River basin runoff prediction. Journal of Hydrology: Regional Studies 47, June 2023, 101438: 13 p. DOI: 10.1016/j.ejrh.2023.101438.

In dieser Studie wird der neuerdings verbreitete Deep-Learning-Algorithmus (DL) Transformer (TSF) sowie zwei häufig verwendete DL-Methoden, Long-Short-Term-Memory (LSTM) und Gated Recurrent Unit (GRU), eingesetzt, um die Leistung von TSF bei der Abflussvorhersage im Jangtse-Einzugsgebiet zu bewerten. Darüber hinaus werden die TSF-Hauptstruktur Self-Attention (SA) zu den LSTM- und GRU-Modellen hinzugefügt, nämlich als LSTM-SA und GRU-SA, um zu untersuchen, ob die Einbeziehung des SA-

Journal of Hydrology: Regional Studies

Evaluate Transformer model and Self-Attention mechanism in the Yangtze River basin runoff prediction

Mechanismus die Vorhersagefähigkeit verbessern kann. Sieben Klimaparameter (mittlere Temperatur, Höchsttemperatur, Niederschlag usw.) sind die Eingabedaten in dieser Studie. Der gesamte Datensatz wurde in Trainings-, Validierungs- und Testdatensätze unterteilt. Darüber hinaus wurde die Beziehung zwischen der Modellleistung und den Eingabezeitschritten untersucht. Die Ergebnisse zeigen, dass das GRU-Modell mit den wenigsten Parametern die beste Leistung erbringt, während das TSF-Modell aufgrund des Mangels an ausreichenden Daten die schlechteste Leistung aufweist. GRU- und LSTM-Modelle sind bei der Abflussvorhersage besser als TSF, wenn die Trainingsstichproben begrenzt sind. Außerdem verbessert der SA-Mechanismus die Vorhersagegenauigkeit, wenn er zu den LSTM- und GRU-Strukturen hinzugefügt wird. Nach Training der DL-Modelle mit verschiedenen Eingabezeitschritten zeigt sich, dass ein geeigneter Eingabezeitschritt die Modellleistung erheblich verbessern kann.

Posterpräsentationen:

- Anh, N.T., Nhan, N.T., Tri, D.V., Schmalz, B. & Luu, T.L. (2023): Water quality assessment using statistical analysis and water quality index in Ba River Basin in Highland of Vietnam. International Workshop on Advanced Environmental Microbiology. Vietnamese-German University (VGU). 24.04.2023. Binh Duong, Vietnam. Poster.
- Dehghani Darmian, M. & Schmalz, B. (2023): Climate Change Impacts on Reservoir Water Quality - Development of Potential Hybrid Management Strategies to Mitigate Climate Warming Effects (Case Study: Rappbode Reservoir, Germany). Einführungsveranstaltung für die internationalen Klimaschutzstipendiatinnen und -stipendiaten, Jahrgang 2023, International Climate Protection Fellowship der Alexander von Humboldt-Stiftung. Bonn. 06.03.2023. Poster.
- Dehghani Darmian, M. & Schmalz, B. (2023): Prediction of longitudinal dispersion coefficient in natural rivers using genetic programming algorithm. 13. Water Research Horizon Conference (WRHC) 2023. 26.-27.09.2023. Freiburg.
- Khazaeiathar, M. & Schmalz, B.: Investigation of Non-linearity of Daily, Monthly, and Yearly Streamflow and the Correlation Between Non-linearity and Catchment Area. EGU 23.-28.04.2023. Wien. Poster.
- Koopaeidar, M. & Schmalz, B. (2023): Concept of a smart environmental monitoring and flood warning system. 2. emergenCITY Demo Fair. 21.03.2023. TU Darmstadt. Poster.
- Koopaeidar, M. & Schmalz, B. (2023): Concept of a smart environmental monitoring and flood warning system. Tag der Hydrologie 2023. 22.-23.03.2023. Bochum. Poster.
- Koopaeidar, M. & Schmalz, B. (2023): Concept of a smart environmental monitoring and flood warning system. 2. emergenCITY week. 12.-15.06.2023. TU Darmstadt. Poster.
- Perschke, M., Ruiz Rodriguez, E. & Schmalz, B. (2023): Niederschlagsstatistik konvektiver Ereignisse – Methodik zur Bildung und Auswertung einer repräsentativen Stichprobe. Tag der Hydrologie 2023. 22.-23.03.2023. Bochum. Poster.

Vorträge:

- 16.09.2023: Khazaeiathar, M. & Schmalz B.: Climate induced hydrological impacts in catchment areas selected German case studies. Workshop on Energy & Green Transition & Climate. 16.-18.09.2023 Karpacz-Wroclaw, Poland.
- 02.06.2023: Wei, X., Wang, G., Schmalz, B., Hagan, D.F.T. & Duan, Z.: Evaluate Transformer model and Self-Attention mechanism in the Yangtze River basin runoff prediction. Sino-German Seminar “Simulating runoff and water quality under changing climate”. 02.06.2023. TU Darmstadt, Darmstadt.
- 03.11.2022: D’Ambrosio, R., Longobardi, A. & Schmalz B.: Sustainable Drainage Systems hydrological sensitivity to precipitation changes. 4th Euro-Mediterranean Conference for Environmental Integration (EMCEI). 01.-04.11.2022, Sousse/Tunisia; hybrid. Oral communication.

Beitrag eines Fördervereinsmitglieds

Langjähriges Mitglied UNGER ingenieure fusioniert mit WEBER-Ingenieure | Das Beste aus zwei Ingenieurunternehmen

Weber-Ingenieure GmbH, Prof. Dipl.-Ing. Joachim Kilian

UNGER ingenieure, heute WEBER-Ingenieure, ist seit vielen Jahren Mitglied des Fördervereins und pflegt eine enge Verbindung zur TU Darmstadt. Zahlreiche Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter der ehemaligen UNGER ingenieure GmbH haben ihr Studium an der TU Darmstadt absolviert, was die Verbundenheit zwischen beiden Institutionen weiter stärkt. Eine wichtige Säule der Partnerschaft ist die Unterstützung der studentischen Arbeit. „Wir sind stolz darauf, Mittel zur Verfügung stellen zu können, um junge Talente zu fördern und ihnen die Möglichkeit zu geben, ihre Ideen und Innovationen in die Praxis umzusetzen. Wir wissen, dass die zukünftigen Ingenieure und Ingenieurinnen der TU Darmstadt eine wichtige Rolle in der Entwicklung unserer Gesellschaft spielen werden, und wir freuen uns, sie auf diesem Weg begleiten zu können.“, so Geschäftsführer Prof. Dipl.-Ing. Joachim Kilian.

Unger ingenieure stand für jahrzehntelange Expertise in der urbanen Daseinsvorsorge – das hat sich nach der Fusion mit WEBER-Ingenieure im Jahr 2022 nicht geändert. Mit dem Zusammenschluss haben beide Unternehmen die fachliche Kompetenz in den Bereichen Wasser, Abwasser, Abfall, Altlasten, Bauwerksinstandsetzung, Elektrotechnik, Geotechnik, Kanal- und Straßenbau, Tragwerksplanung und Hochwasserschutz weiter ausgebaut. Darüber hinaus konnte die Altersnachfolge erfolgreich geregelt werden. Das fusionierte Unternehmen präsentiert sie sich heute als modernes, gewachsenes und zukunftsorientiertes Unternehmen.

Mit mittlerweile 19 Standorten und über 380 Mitarbeitenden gehört WEBER-Ingenieure zu einem der größten Ingenieurbüros in Deutschland. Die Partnerschaft mit der TU Darmstadt und die enge Zusammenarbeit mit der Universität sind Teil der Erfolgsgeschichte. Durch den Austausch von Fachwissen, die Förderung von Talenten und die stetige Weiterentwicklung der Kompetenzen ist WEBER-Ingenieure heute hervorragend aufgestellt, um den steigenden Anforderungen in der Branche gerecht zu werden.

Abbildung 59: Das sind WIr – das ist WEBER-Ingenieure

Wissen bündeln. Innovativ denken. Modern umsetzen.

Man ergriff mit der Fusion die historisch einmalige Chance für ein gesundes Wachstum und die Möglichkeit die mittelständische Ausprägung beider Unternehmen beizubehalten. Erfolgreich funktioniert hat dies durch gegenseitiges Respektieren der Unternehmenskulturen, Vertrauen, Akzeptanz und Transparenz während des gesamten Integrationsprozesses. Und vor allem dadurch, dass man die Mitarbeitenden über alle Ebenen hinweg bei sämtlichen Prozessen aktiv eingebunden sowie für das neu Entstehende begeistert hat.

„Wir sind in der Lage, Projekte interdisziplinär zu bearbeiten, und zwar sowohl fach- als auch standortübergreifend“, sagt WEBER-Ingenieure-Geschäftsführer Jan Weber. Ein weiterer Vorteil für die Kunden besteht darin, dass die bekannten Ansprechpartner von UNGER ingenieure erhalten geblieben sind.

Abbildung 60: Kontinuität in der Geschäftsführung auch nach der Fusion - Dr.-Ing. Neithard Müller, Dipl.-Ing. Thomas Zimmermann, Dipl.-Ing. Jan Weber, Prof. Dipl.-Ing. Joachim Kilian, Dr.-Ing. Christian Mauer, Dipl.-Ing. Stefan Knoll (v. l.)

Praxispartner der Forschung und Entwicklung

Den Herausforderungen der heutigen Zeit begegnet WEBER-Ingenieure mit dem Engagement in Forschung und Entwicklung, auch durch die fach- und standortübergreifende Bündelung des Ingenieur-Know-Hows der Mitarbeitenden. So setzt WEBER-Ingenieure aktuelle Themen wie beispielsweise ressourcenschonendes und nachhaltiges Bauen, Umweltschutz (z.B. über Machbarkeitsstudien zur 4. Stufe in Kläranlagen), Einbindung und Nutzung erneuerbarer Energien, Effizienzsteigerung des Energieverbrauchs und Risikomanagement um. Auch die Vorsorge bei Starkregenereignissen und urbanen Sturzfluten, sowie die Verbesserung der Infrastruktur sind Themen, welche in der Praxis umgesetzt werden.

Mit fachübergreifendem Ingenieur-Know-how ist man nun mehr denn je in der Lage, alle geforderten Leistungen aus einer Hand anzubieten und bringt die Erfahrung und Expertise für neue Arbeitsmethoden (z. B. BIM) mit. Durch interessante Projekte, Wertschätzung, gute Arbeitsbedingungen und eine zielgerichtete Personalpolitik bietet man bestehenden und potenziellen Mitarbeitenden ein attraktives Arbeitsumfeld.

Gut aufgestellt für große, hochkomplexe Projekte agiert WEBER-Ingenieure dennoch nach mittelständisch geprägten Werten und versteht sich als Partner auf Augenhöhe.

Der Förderverein im Internet

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

https://www.iww.tu-darmstadt.de/foerderverein_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 Fördervereines 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

Aktueller Vorstand

- Vorsitzender (extern) Dr.-Ing. Andreas Wetzstein
- Stellvertretender Vorsitzender (extern) Prof. Dr.-Ing. Steffen Heusch
- Stellvertretender Vorsitzender (extern) Dr.-Ing. Thomas Kraus
- Vorstand (extern) Dr.-Ing. Dirk Jelinek
- Vorstand (Institutsangehöriger) Prof. Dr.-Ing. Boris Lehmann
- Vorstand (Institutsangehörige) Prof. Dr. Britta Schmalz
- Vorstand (Institutsangehöriger) Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann
- Vorstand (Institutsangehörige) Lidia Nersissian M.Sc.

Förderverein - Mitglied werden

Warum Sie Mitglied werden sollten

- Aufnahme in das Wasserbau-Netzwerk der Darmstädter Hochschul-Absolventen
- Teilnahmemöglichkeiten an gemeinsamen Fach-Exkursionen
- Mitgestaltungsmöglichkeiten beim DAWAKO
- Kostenfreie Zustellung der Instituts-Mitteilungen
- Informationen zu aktuellen Themen aus dem Institut

Aufnahmeantrag
Den Aufnahmeantrag und die Einzugsermächtigung finden Sie auf:
https://www.iww.tu-darmstadt.de/foerderverein_fviww/mitglied_werden_fviww/index.de.jsp

Bitte senden Sie die ausgefüllten Formulare an:

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

Die Bestätigung Ihrer Mitgliedschaft wird Ihnen per E-Mail zugesendet.

WasserJahr 2023

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

FÖRDERVEREIN IWW

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

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