

WasserJahr 2020

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,

die Corona-Pandemie prägt im Jahr 2020 unser aller Leben. Sowohl im privaten als auch im beruflichen Bereich sind weitreichende Einschränkungen an der Tagesordnung, um die Ausbreitung des Corona-Virus einzudämmen und damit Menschenleben zu retten.

Auch der Alltag an der Universität ist 2020 alles andere als alltäglich: Mit dem Lockdown im Frühjahr des Jahres mussten wir unter hohem Zeitdruck zum kurz bevorstehenden Semesterbeginn alle unsere Lehrveranstaltungen auf digitale Formate umstellen. Dazu wurden Vorlesungsaufzeichnungen (sog. Screencasts) als auch Live-Videomeetings über Internetplattformen der TU Darmstadt genutzt, um die Lehrinhalte so gut wie möglich zu vermitteln und zudem den wichtigen Kontakt zu unseren Studierenden zu halten. Erstaunlich, mit welcher rasanten Geschwindigkeit die Digitalisierung hierbei Einzug gehalten hat: im Rückblick lässt sich das Fazit ziehen, dass digitale Lehrveranstaltungen durchaus mit verträglichem Aufwand machbar sind, jedoch viele charakteristische Eigenschaften von Präsenzveranstaltungen im Hörsaal oder Seminarraum, welche den Lernalltag authentisch und erlebbar machen, nicht erreichen können. Daher gilt es an dieser Stelle all unseren Studierenden ein besonderes Lob dafür auszusprechen, dass sie es trotz der massiven sozialen Kontaktbeschränkungen und dem stundenlangen Ausharren vor dem Computer geschafft haben, ihr Studium erfolgreich fortzuführen und mit nach wie vor überzeugenden Leistungen ein wichtiger Teil der Unigemeinschaft zu sein.

Im Wissenschaftsbetrieb erlebten wir einerseits zahlreiche Absagen von Tagungen, Kongressen und Arbeitsgruppensitzungen. Andererseits konnten trotz der Pandemiesituation laufende Projekte erfolgreich fortgeführt und neue Projekte akquiriert werden. Hierfür gebührt Dank und Respekt den wissenschaftlichen als auch den administrativ-technischen Mitarbeitenden am Institut, die mit hoher Flexibilität, Motivation und Kreativität sehr zuverlässig ihren Arbeiten nachgegangen sind.

Das vorliegende *WasserJahr* gibt Ihnen in gewohnter Weise einen kurzweiligen Überblick über die zurückliegenden Aktivitäten des Instituts einschließlich einem Bericht aus dem Förderverein und zu unserem gemeinsamen DAWAKO. Wir wünschen Ihnen beste Gesundheit und viel Spaß bei der Lektüre.



*Zutritt nur mit Genehmigung!
Corona hat unseren Unialltag stark verändert*

Britta Schmalz

Prof. Dr. habil. Britta Schmalz

Fachgebietsleiterin

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Boris Lehmann

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Fachgebietsleiter

Wasserbau und Hydraulik

Inhalt

	Seite
• DAWAKO 2020 – Rückblick	3
• Informationen aus dem Förderverein	7
• Beiträge zu herausragenden studentische Abschlussarbeiten 2020	8
• Aus den Fachgebieten: Wasserbau und Hydraulik	35
○ Lehre	35
○ Promotionen	37
○ Forschung	39
• Aus den Fachgebieten: Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung	66
○ Lehre	66
○ Promotionen	67
○ Forschung	68
• Beitrag eines Fördervereinmitglieds: BjörnSEN Beratende Ingenieure GmbH	95
• Der Förderverein im Internet	97

Impressum

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Prof. Dr.-Ing. habil. Boris Lehmann

Prof. Dr. habil. Britta Schmalz

Franziska-Braun-Straße 7, 64287 Darmstadt

Unterstützt durch:

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

Titelbild: ihwb-Wetterstation im Fischbach-Einzugsgebiet (Foto: Romano 09/2020)

Rückseite: Renaturierter Speyerbach in Neustadt (Foto: BjörnSEN Beratende Ingenieure)

DAWAKO 2020 - Rückblick

Das Darmstädter wasserbau- und wasserwirtschaftliche Kolloquium (DAWAKO) 2020 fand am 4. März 2020 statt und umfasste dieses Mal die Themen „Wasserbauliche Anlagen“, „Fischrobotik“ und „Schwebstofftransport“. Die 112 Teilnehmenden setzten sich knapp zur Hälfte aus externen Gästen (43) und zur anderen Hälfte aus Studierenden (42) sowie aus Institutsbeschäftigten (17) und den Referierenden (10) zusammen. 34 der Teilnehmenden waren Mitglieder des Fördervereins.

Nach einer kurzen Begrüßung und einigen organisatorischen Hinweisen durch die beiden Fachgebietsleiter Prof. Lehmann und Prof. Schmalz begann der fachliche Teil mit dem Block Wasserbau und den ausgewählten Themen „Wasserbauliche Anlagen“ und „Fischrobotik“ mit insgesamt drei Fachvorträgen.

Im ersten Vortrag stellten **Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann** vom FG Wasserbau und Hydraulik sowie **Alexander Ruppert** von Josef Wiegand GmbH & Co. KG das Federwehr zur Wasserstands-Abfluss-Regelung ohne Fremdenergie vor. Unter Ausnutzung der Biegesteifigkeit biegt sich der spezielle blattfederförmige Wehrkörper in Abhängigkeit des anstehenden Wasserdruckes.

Mittels wasserbaulichen Versuchen soll das Interaktionsgefüge präzise untersucht und daraus dann eine Bemessung des Federwehres für unterschiedliche Randbedingungen abgeleitet werden.



Prof. Lehmann und Prof. Schmalz begrüßen die Teilnehmenden



Interessiertes Publikum während der Vorträge im Wasserbau-Block

Um Planungen zum Fischschutz und -abstieg am Mainkraftwerk Kostheim ging es in der Präsentation von **Dipl.-Ing. Peter Wiker**, PWP Consulting. Da an dem Standort bei Mittelwasserhältnissen quasi der gesamte Mainabfluss durch die zwei Kraftwerksturbinen geleitet wird, stellt der Fischschutz hier eine besondere Herausforderung dar, der mit einem sog. Multifeldrechen begegnet werden soll. Herr Wiker stellt dazu die Vision zu dem „Hybridrechen“, die bisherigen numerischen Voruntersuchungen und ersten Planungsschritte dar.

Dr.-Ing. Jeffrey Tuhtan, TalTech Tallinn - Centre for Biorobotics, und **Katharina Bensing**, FG Wasserbau und Hydraulik, stellten das Projekt MeMo zur Forschung für ein neues Mess- und Modellersystem zum Fischverhalten vor. Mittels neuartiger fischförmiger flexibler Sonden wird die Erfassung von diversen Umgebungsdaten zur Strömung, Temperatur u.ä. in situ möglich. Ziel ist es, die Welt unter der Wasseroberfläche „mit der Wahrnehmung der Fische“ zu erfassen und daraus dann ethohydraulische Befunde abzuleiten.

Der erste Block wurde mit Diskussionen bei einem Mittagessen in der benachbarten Mensa fortgeführt. Der Nachmittag begann dann mit dem Hydrologie-Block zum Thema „Schwebstofftransport“ und umfasste ebenfalls drei Vorträge.

Als erstes referierte **Dipl.-Ing. Bettina Grünwald** vom Regierungspräsidium Darmstadt über Spurenstoffe im Grundwasser und die rechtliche und wasserwirtschaftliche Einordnung am Beispiel der Situation im Hessischen Ried. Dazu stellte sie auch mögliche Maßnahmen vor, die in quellenorientierte, anwenderorientierte und nachgeschaltete Maßnahmen unterschieden, und zu einer Vermeidung, Minimierung bzw. Elimination von Spurenstoffen führen sollen.

Es folgte eine Präsentation über die Unsicherheiten in der Abschätzung von Bodenerosion unter Verwendung der USLE (Universal Soil Loss Equation). **Dipl.-Ing. Christoph Schürz** vom Institut für Hydrologie und Wasserwirtschaft, Universität für Bodenkultur Wien, stellte die Ergebnisse einer systematischen Analyse aus Kenia und Uganda vor, die er zusammen mit Kollegen der BOKU sowie vom IGB, Berlin, bzw. der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel durchgeführt hat. Er berichtete, dass Unsicherheiten vor allem in komplexer Topographie auftreten und diskutierte die Relevanz der räumlichen Skala für die Abschätzung des Bodenabtrags.

Der letzte Vortrag im Themenblock von **Dominik Scholand**, vom FG Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung umfasste die Abschätzung des Erosionsgeschehens innerhalb des Einzugsgebietes durch Analyse der Schwebstoffdynamik in Oberflächengewässern. Eine Identifikation der Quellen und Fließwege von Bodenpartikeln, die durch Bodenerosion abgetragen wurden, erfordert die Analyse der Einzugsgebieteigenschaften einschließlich Geländebegehungen.

Nach diesen interessanten Vorträgen und anschließenden regen Diskussionen gab es eine Kaffeepause im Foyer vor dem Hörsaal, die zum weiteren fachlichen

Austausch und Kennenlernen verwendet wurde. Die Pause wurde auch genutzt, um sich auf einer kleinen Posterausstellung bei den Promovierenden des gastgebenden Instituts über deren Forschungsthemen zu informieren. Danach begann der Block des Fördervereins.

Herr **Dipl.-Ing. Thomas Zimmermann** von Unger Ingenieure mit Weber-Ingenieure präsentierte den Rückbau eines historischen Holzwehres an der Dreisam in Freiburg im Zuge der WRRL. Dabei stellte er die Varianten des Umbaus des ursprünglich 1873 gebauten Holzwehres vor, die Dimensionierung der Vorzugsvariante sowie die Bauausführung.



Aufmerksame Zuhörerschaft im Hydrologie-Themenblock



Fachlicher Austausch und gute Stimmung während der Kaffeepause

Es folgte die Verleihung der Förderpreise des Fördervereins. Als Sponsoren stifteten **GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden**, **UNGER ingenieure mit Weber-Ingenieure** sowie **DAHLEM Beratende Ingenieure GmbH & Co. Wasserwirtschaft KG** je ein Preisgeld von 500 Euro. Die beiden Fachgebiete hatten dazu im Vorfeld des DAWAKO einer Jury des Fördervereins fünf herausragende studentische Abschlussarbeiten vorgelegt. Der Sprecher der Jury, **Dr.-Ing. Andreas Wetzstein**, moderierte die Preisverleihung und überreichte zusammen mit Vertretern der Sponsoren und dem Vorsitzenden des Fördervereins die Urkunden an die drei Preistragenden. Es wurden zwei Masterarbeiten und eine Bachelorarbeit ausgezeichnet:



Verleihung der Förderpreise des Fördervereins

- **Julius Reich, M.Sc.:** Evaluation des zwei-dimensionalen hydrodynamisch-numerischen Modells BASEMENT im Vergleich zum Modell HYDRO_AS-2D
- **Anne Schwob, M.Sc.:** Set-up and configuration of a real-time ensemble Kalman filter for an operational flood forecasting system
- **Annika Scheidler, B.Sc.:** Einsatz, Funktion und Aufbau kleiner Sohlenbauwerke

Die Ausgezeichneten stellten ihre interessanten Ergebnisse in Kurzvorträgen vor. Separate Artikel zu ihren Arbeiten sind bereits im WasserJahr 2019 abgedruckt worden.

Das DAWAKO 2020 wurde mit Dankesworten an alle Referentinnen und Referenten, die Sponsoren, die Förderpreis-Jury, die Teilnehmerinnen und Teilnehmer sowie die beteiligten Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter geschlossen. Wieder einmal fanden ein intensiver Austausch und rege Diskussionen zwischen externen Gästen, Institutsmitarbeitenden und Studierenden statt. Danach folgte die Mitgliederversammlung des Fördervereins.

Im Anschluss wurde das schon traditionelle Barbecue in der Wasserbauhalle abgehalten, welches Gelegenheit zu weiteren Begegnungen bot. Auch dieses Jahr wurde die Abendveranstaltung mit Live-Musik durch die Band **TUNE UP – JazzMotion** untermalt. Vielen Dank an Jörg Steinhardt (Saxophon) mit seinen Bandkollegen Hermann Kock (Drums), Moritz Grenzmann (Bass) und Manuel Seng (Piano), die wie schon in den Vorjahren dem Abend eine besondere Atmosphäre verliehen. Salate, frisch gegrillte Bratwürstchen und Halloumi-/Gemüse-Spieße sowie Fassbier und guter Wein ergänzten den Abend kulinarisch. Parallel hatten die DAWAKO-Teilnehmenden die Möglichkeit, die Modelle im wasserbaulichen Forschungslabor zu besichtigen. Methoden und erzielte Ergebnisse wurden bei Führungen durch die Mitarbeitenden des Fachgebiets Wasserbau und Hydraulik erläutert und fachlich ausgetauscht.

Wir danken allen für die Unterstützung und für das Interesse und hoffen, dass wir auch im Jahr 2021 ein DAWAKO durchführen können.



Gute Stimmung beim Barbecue in der Wasserbauhalle mit Live-Musik durch die Band TUNE UP – JazzMotion

Informationen aus dem Förderverein

Dr.-Ing. Thomas Kraus und Dr.-Ing. Andreas Wetzstein



Das Jahr 2020 neigt sich dem Ende entgegen. Ein Jahr geprägt von der COVID-19-Pandemie. Das DAWAKO 2020 konnte am 4. März gerade noch erfolgreich durchgeführt werden, denn innerhalb weniger Wochen änderte sich vieles.

Wie die meisten anderen auch werden wir diesem Jahr wahrscheinlich nicht viele Tränen hinterher weinen. Aber, und auch das gilt es zu erwähnen, belegen die Erfahrungen aus diesem Jahr, wie wichtig unsere Branche für die Aufrechterhaltung lebensnotwendiger und systemrelevanter infrastruktureller Einrichtungen ist: Die Baubranche wurde weitestgehend von den Corona-bedingten Einschnitten verschont und im täglichen Arbeitsumfeld war für die meisten von uns wahrscheinlich wenig von der Pandemie zu spüren. Im Lehrbetrieb unserer Hochschulen und Universitäten sieht das allerdings ganz anders aus...

Wir hoffen, dass die Pandemie schnellstmöglich eingedämmt wird und sich endlich wieder eine Normalisierung unseres Umfelds einstellt.

Kurz vor der letzten Mitgliederversammlung gab Dr. Thomas Kraus bekannt, dass er nach langjährigem Vorstandsvorsitz dieses Amt künftig nicht mehr ausüben wollte, da die berufliche Situation dies nicht mehr erlaube. Die Tagesordnung wurde daher kurzfristig abgeändert und um die Neuwahl des 1. Vorsitzenden ergänzt. Im Rahmen der nachfolgend durchgeführten Wahl wurde Dr. Andreas Wetzstein als 1. Vorsitzender gewählt. Leider entsprach die gewählte Vorgehensweise nicht den Anforderungen des Amtsgerichts Darmstadt: die Wahl hätte in der Einladung zur Jahreshauptversammlung angekündigt werden müssen. Die Wahl muss also wiederholt werden. Sie wird durchgeführt im Rahmen der nächsten Mitgliederversammlung, in der ohnehin die regulären Vorstandswahlen stattfinden müssen.

Prof. Steffen Heusch und Prof. Nicole Sänger leiten als stellvertretende Vorsitzende den Verein nun übergangsweise bis zur nächsten Mitgliederversammlung. Leider können pandemiebedingt weder das DAWAKO 2021 noch die Jahreshauptversammlung in ihrer gewohnten Form und am üblichen Ort durchgeführt werden. Die TU Darmstadt lässt gegenwärtig externe Veranstaltungen nicht zu und selbst wenn sich die Situation bis ins kommende Frühjahr wieder entspannen sollte, wird im eng gestrickten Prüfungskalender der TU Darmstadt eine Seminarveranstaltung wie das DAWAKO nicht sicher planbar sein.

Eine Jahreshauptversammlung 2021 steht in jedem Falle an. Wir als Vorstand hoffen, dass wir im kommenden Sommer - wenn auch kein DAWAKO - dann doch wenigstens eine Mitgliederversammlung durchführen zu können. Um diesen Termin aufzuwerten, könnten wir uns zudem vorstellen, auch die Preisvergabe für die herausragenden studentischen Arbeiten aus 2020 durchzuführen. Und „last but not least“ möchten wir gerne auch das BBQ für die Vereinsmitglieder nicht ausfallen lassen und als Abschluss für die Veranstaltung umsetzen. Insbesondere letzteres ist im Rahmen einer virtuellen Veranstaltung nur von begrenztem Reiz.

Da momentan keine verlässlichen Planungen durchgeführt werden können, haben wir uns den Frühlingsanfang als Stichtag überlegt, an dem über das „wo“ und „wie“ der Jahreshauptversammlung im Sommer 2021 entschieden wird.

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



Beiträge zu herausragenden studentischen Abschlussarbeiten 2020

Analyse potentieller Quellen und Fließwege von Schwebstoffpartikeln in Oberflächengewässern im Einzugsgebiet des Fischbachs

Bachelorthesis von Simon Hofmann am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung und Ziele

Schwebstoffe in Oberflächengewässern können zu einer starken Beeinträchtigung der Gewässerqualität führen. Zu den langfristigen Folgen zählen etwa eine verminderte Photosyntheseleistung der Gewässerflora aufgrund verringerter Sonneneinstrahlung oder Stoffwechselstörungen mit daraus folgender Unterversorgung der Fauna. Unter den Gesichtspunkten Wasserbau und Gewässerhydraulik können durch Absetzen der Schwebstoffe zudem vermehrt Sedimentablagerungen auftreten, welche zu einem geringeren Durchflussquerschnitt und erhöhtem Hochwasserrisiko führen.

Auch im Fischbach wurde im Rahmen einer vorausgehenden Abschlussarbeit (Buetti 2017) eine erhöhte Trübung und eine damit korrelierende Schwebstoffkonzentration festgestellt. Um die Belastung durch Schwebstoffe im Fischbach besser beurteilen zu können, sollen innerhalb dieser Arbeit diffuse Quellen von Schwebstoffen und deren Fließweg in den Fischbach ermittelt werden. Die Beurteilung erfolgt auf Basis des von landwirtschaftlichen Nutzflächen innerhalb des Einzugsgebiets des Fischbachs anfallenden erosiven Materials.

Vorgehen und Ergebnisse

Nach einer Präsentation der wissenschaftlichen Grundlagen zu Bodenerosion durch Wasser, der Vorstellung der verwendeten Allgemeinen Bodenabtragsgleichung (ABAG) und einen Einblick in die gesetzlichen Vorgaben zum Thema Erosion wird die ABAG gemäß DIN 19708:2017-08 angewandt. Anschließend erfolgt eine Auswertung der Ergebnisse nach Merkblatt DWA-M 910 (**Abbildung 1**).



Abbildung 1: Vorgehensweise bei der Auswertung der ABAG (eigene Darstellung nach DWA 2012, 20)

Die Berechnung der Erosionsgefährdung des HLNUG im Erosionsatlas Hessen dient als Referenz, daher orientiert sich die Bestimmung der einzelnen Faktoren der ABAG an den dort verwendeten Methoden. Aus den Neuberechneten Faktoren wird die Erosionsgefährdung nach verschiedenen Maßstäben ausgewertet (Erosionsgefährdung nach ABAG, natürliche Erosionsgefährdung, Erosionsbewertung nach Cross Compliance) und anschließend dem Referenzwert gegenübergestellt (**Abbildung 2**).



Abbildung 2: Ausschnitt der Erosionsgefährdung für einzelne Ackerschläge im Untersuchungsgebiet unter Berücksichtigung der Fruchtfolge (2011 - 2016) nach eigener Berechnung (links) und nach Berechnung des HLNUG (rechts) (eigene Darstellung nach HLNUG 2018)

Um zu überprüfen, ob das errechnete erosive Material bis ins Fließgewässer gelangen kann, werden zwei Methoden verwendet: Der Stream Power Index (SPI) und die zurückgelegte Fließlänge bis ins Gewässer. Der SPI bietet neben der Fließwegbestimmung auch die Möglichkeit Abflussakkumulierungen hervorzuheben und somit insbesondere von linearer Erosion betroffene Flächen sichtbar zu machen. Mit der Methode der zurückgelegten Fließlänge lassen sich vor allem Flächen identifizieren, die aufgrund ihrer Nähe zum Fließgewässer eine besondere Gefährdung darstellen.

Es folgt ein Vergleich besonders auffälliger Flächen mit Luftaufnahmen und eine Überprüfung der Ergebnisse anhand einer Begehung im Untersuchungsgebiet (Abbildung 3).

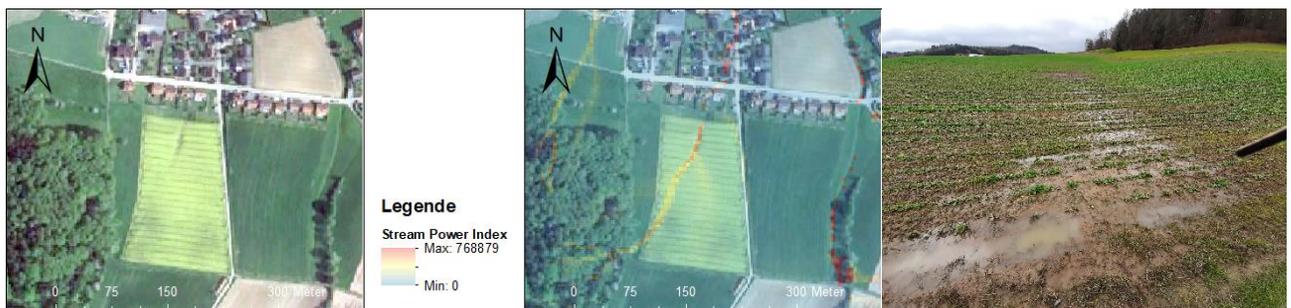


Abbildung 3: Lineare Erosion auf einer Ackerfläche südlich von Rodau, mit SPI (Mitte) und ohne (links); (eigene Darstellung nach Google 2019); Foto vor Ort (rechts; Hofmann)

Die Begehung erfolgte nach einem Niederschlagsereignis, sodass an vielen Stellen deutlich erosive Schäden erkennbar waren. An nahezu allen vor der Begehung festgelegten Flächen wurden deutliche Spuren von Erosion und gut sichtbare Fließwege vorgefunden.

Fazit

Die Bestimmung der Faktoren der ABAG ist ohne Beobachtungen vor Ort nur bedingt durchführbar, außerdem mussten unvollständige Daten mithilfe von Annahmen ergänzt werden. Insgesamt weisen die Ergebnisse der Berechnung auf ein hohes Erosionspotential im Untersuchungsgebiet hin und viele der betroffenen Flächen sind über Gräben indirekt mit dem Fließgewässer verbunden. Daher sind geeignete Maßnahmen zum Rückhalt des erosiven Materials unter der Berücksichtigung der Topographie notwendig.

Literatur

Bueti, R. B. (2017): Analyse von Schwebstoffen im Fließgewässer, Masterarbeit am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung der TU Darmstadt.

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) (2012): Merkblatt DWA-M 910: Berücksichtigung der Bodenerosion durch Wasser bei der Maßnahmenplanung nach EG-Wasserrahmenrichtlinie, Hennef.

Google (2019): Google Earth, 20.01.2020, online verfügbar unter <https://www.google.com/earth/>.

Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG) (2018): Erosionsatlas 2018, 01.11.2020, online verfügbar unter <https://www.hlnug.de/?id=8569>.

Anergienetze zur Oberflächengewässernutzung

Bachelorthesis von Anika Katharina Berger am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung

Der Klimawandel verlangt nach einer Reduzierung der Treibhausgase, bspw. durch die Nutzung erneuerbarer Energien. Um dies im Gebäudesektor umzusetzen, besteht das Bestreben das thermische Potenzial von Oberflächengewässern zu nutzen. Dieses findet sich z. B. in ihrer hohen spezifischen Wärmekapazität sowie ihrer Niedertemperatur. Zur Nutzung dieses Potenzials bieten sich Anergienetze an, da sie Temperaturniveaus nah der Umgebungstemperatur besitzen und folglich hohe Wärmeverluste vermieden werden. Hierdurch kann die Niedertemperaturwärme der Oberflächengewässer genutzt werden.



Diese Arbeit gibt einen Überblick über den Stand der Technik der Anergienetze und analysiert vier Praxisbeispiele aus zwei Ländern, hinsichtlich deren Umsetzung. Ziel ist es, Empfehlungen und Hilfestellungen für die Planung und Umsetzung solcher Projekte in Deutschland abzuleiten. Hierfür werden Rahmenbedingungen der Oberflächengewässer für eine Nutzung als Wärmequelle, sowie verschiedene mögliche Systemkonfigurationen für Anergienetze berücksichtigt.

Vorgehen und Praxisbeispiele

Nach einer kurzen Definition relevanter Begriffe der Thematik Anergienetze und Oberflächengewässer, wird auf die benötigten Grundlagen zu Leitungsnetzen für Transport und Verteilung von Niedertemperatur eingegangen. Anschließend werden für die nachfolgenden Praxisbeispiele erforderliche Systemkonfigurationen dargestellt. Zum Abschluss werden, ausgehend von den Praxisbeispielen und verschiedenen in der Schweiz bereits existierenden Planungshilfen und Verordnungen, Bemessungsempfehlungen ausgesprochen, um einen ersten Leitfaden zur Entscheidungsunterstützung in Deutschland zu erstellen.

Bei den Praxisbeispielen handelt es sich um zwei Systeme aus der Schweiz (Genève Lac Nation, CAD La Tour-de-Peilz), die stehenden Gewässer als Wärmequelle nutzen, und zwei Systeme in Deutschland (Lauterecken, Solarsiedlung Ohrberg), die fließenden Gewässer verwenden. Während beide Systeme der Schweiz als große Anlagen gelten und komplett neu geplant wurden, gilt das Anergienetz Lauterecken (**Abbildung 4**) in Deutschland als eine kleine Anlage, die nachträglich an das bereits bestehende konventionelle Leitungssystem angeschlossen wurde.

Werden die Wärmequellen der Systeme betrachtet, wird ersichtlich, dass je nach Art des Gewässers unterschiedliche Anforderungen bestehen. Als Beispiel hierfür kann der Wärmehaushalt eines Sees (**Abbildung 5**) betrachtet werden. Wie die Beispiele in der Schweiz zeigen, können sich mehrere Systeme die gleiche Wärmequelle teilen und dabei unterschiedlich angeschlossen sein. Die in Deutschland zu findende Solarsiedlung Ohrberg, verbindet ein Anergienetz mit Anbindung an die Weser mit Solaranlagen. Dies zeigt, dass Anergienetze mit Oberflächengewässern als Wärmequelle auch mit anderen erneuerbaren Energien kombiniert werden können.



Abbildung 4: Nahwärmenetz Lauterecken (blau: Kaltleiter, rot: Wärmleiter, lila: Verlauf der Lauter) (Schwinghammer 2012)

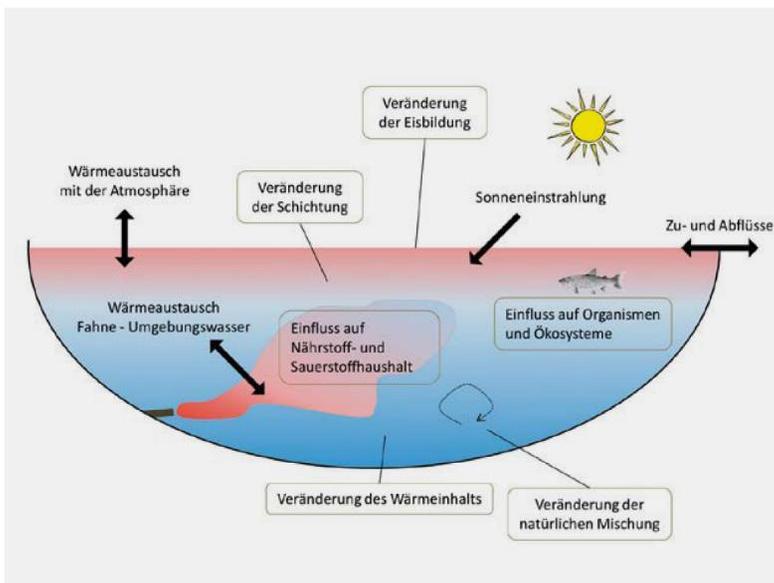


Abbildung 5: Wärmehaushalt stehende Gewässer (Gaudard et al. 2017)

Ergebnisse und Empfehlungen

Die ausgearbeiteten Empfehlungen sind in verschiedene Kategorien eingeteilt. Als Erstes werden allgemeine Empfehlungen aufgelistet, die Behörden oder Ingenieurbüros einen schnellen Überblick über mögliche Standorte, bereits vorhandene Systeme und eine dauerhafte Kontrolle ermöglichen. Hierbei wird z. B. eine Erfassung des sich ändernden thermischen Potenzials der Oberflächengewässer, ein behördenübergreifendes Register, eine Standortkarte und Modelle zur Erfassung der Auswirkungen von Anergienetzen auf die Oberflächengewässer vorgeschlagen. Als Zweites werden Empfehlungen angeführt, die die Bewilligung eines solchen Netzes in der in Deutschland komplexen rechtlichen Lage vereinfachen sollen. Als Lösung wird eine Checkliste, ähnlich einer in der Schweiz bereits genutzten, empfohlen, um das Bewilligungsverfahren zu verkürzen. Anschließend werden verschiedene Anforderungen an die Oberflächengewässer und Empfehlungen für deren Berücksichtigung dargestellt. Auffällig ist, dass es bereits viele Überschneidungen mit den Vorgaben, die die Schweiz an die Oberflächengewässer stellt, gibt. Durch die unterschiedlichen Eigenschaften von stehenden und fließenden Gewässern bietet sich eine Nutzung in verschiedenen Tiefen und Temperaturen an (Tabelle 1).

Tabelle 1: Tiefen und Temperaturen bei Wasserentnahme in Oberflächengewässern (verändert nach Gaudard et. al. 2018, 31)

	See	Flüsse
Wärmeextraktion (Oktober-März)	Um 15-40 m Tiefe (Temp.: 4-10 °C)	Im Unterstrom eines tiefergelegenen Sees (Temp.: 4-12 °C)
Kälteextraktion (Juni-August)	Um 30-70 m Tiefe (Temp.: 4-8 °C)	Mit alpinem Einzugsgebiet (Temp.: 2-15 °C)

Eine weitere Kategorie sind Empfehlungen, die mögliche Systeme und Konfigurationen betreffen, da sich diese direkt auf den Verwendungszweck und die Investitionskosten des Netzes auswirken. Die abschließenden Empfehlungen beziehen sich auf das zu verwendende Rohrsystem und fassen zusammen, welche Anzahl an Rohren in welcher Situation genutzt werden sollten, aus welchen Materialien sie bestehen können und welche Durchmesser sinnvoll sind. Zusätzlich wird das umweltfreundliche Wärmeträgermedium Wasser empfohlen, um die Energie zum Bezüger zu leiten. Randbedingungen für Niedertemperaturnetze sind in **Abbildung 6** mit typischen Größen und verschiedenen Konfigurationen dargestellt.

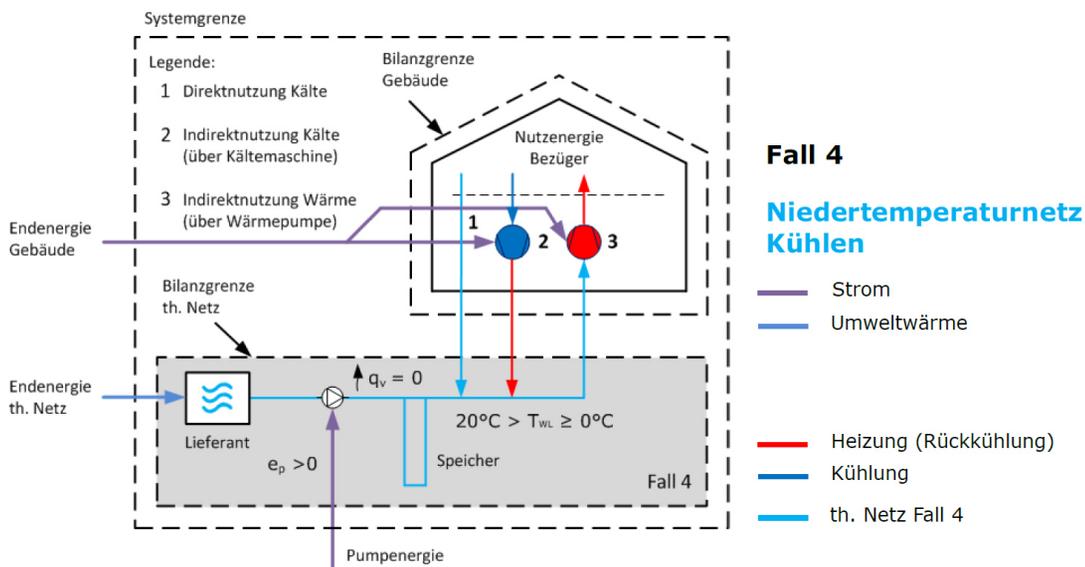


Abbildung 6: Anergienetz für Kühlzwecke (eigene Darstellung) (Sulzer et al. 2018, 31)

Zusammenfassung und Ausblick

Insgesamt wird durch diese Arbeit deutlich, dass Anergienetze zur Oberflächengewässernutzung eine Alternative für konventionelle Heiz- und Kühlsysteme in Gebäuden sind. Durch die gesammelte Erfahrung aus anderen Ländern, wie z. B. der Schweiz, ist ihre Wirtschaftlichkeit bewiesen, sodass nur noch Planungshilfen und geeignete Bewilligungsverfahren in Deutschland benötigt werden, um eine verstärkte Nutzung anzuregen.

Zur Erarbeitung einer Planungshilfe, die die in der Arbeit erarbeiteten Empfehlungen umsetzt und ein optimales Bewilligungsverfahren darstellt, ist eine Zusammenarbeit der Behörden mit Ingenieurbüros von großer Bedeutung, um unnötige Schritte in einem Bewilligungsverfahren oder eine erschwerte Planung und Umsetzung zu vermeiden und Anergienetze als ernstzunehmende Alternative wahrzunehmen.

Literatur

Gaudard, Adrien, Schmid, Martin, Wüest, Alfred (2018). Thermische Nutzung von Seen und Flüssen. Aqua & Gas 98 (2), 26–33

Gaudard, Adrien, Schmid, Martin, Wüest, Alfred (2017). Thermische Nutzung Oberflächengewässer. Aqua & Gas 97 (5), 40–45

Schwinghammer, Florian (2012). Thermische Nutzung von Oberflächengewässern. Master Thesis. Freiburg i. Br., Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i. Br

Sulzer, Matthias, Hangartner, Diego, Mennel, Stefan, Ködel, Joachim (2018). Grundlagen und Erläuterungen zu Thermischen Netzen

Untersuchungen zur Abflussleistung des Sulzbächle-Dükers in Weinheim

Masterthesis von Tobias Schilling am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung

Gegenstand der Masterthesis war die hydraulische Untersuchung eines Abschnitts des sogenannten Sulzbächles bei Weinheim mit dem Ziel, die Plausibilität der Hochwassergefahrenkarten (HWGK) in diesem Bereich einzuschätzen und Empfehlungen zu möglichen Schutzmaßnahmen zu geben. Die HWGK zeigt für den betrachteten Abschnitt bereits ab einem HQ_{10} eine Überflutung in das angrenzende Wohngebiet an. Ursächlich ist das Sulzbächle, welches zunächst in einem künstlichen Gerinne fließt, anschließend mit einem Dükerbauwerk eine Bahnstrecke sowie eine Kreisstraße kreuzt und daraufhin in einem naturnah gestalteten Gerinne in Richtung der Weschnitz geleitet wird (Abbildung 7).



Abbildung 7: Künstliches Gerinne oberstrom (links), Einlauf zum Düker (Mitte), Auslauf des Dükers mit anschließendem naturnahem Gerinne (rechts) (eigene Aufnahmen, Juli 2019)

Hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes oberstrom des Dükers

Die Abflussleistung des Gerinneabschnittes wurde über eine stationäre Berechnung der Wasserspiegellagen mit dem hydraulisch-numerischen 1D-Modell HEC-RAS ermittelt. Der Einfluss des Dükers wurde hierbei zunächst nicht beachtet, da in den Berechnungen zu der aktuell gültigen HWGK eine

Dükerleitung DN 1300 angenommen wurde, während tatsächlich eine Leitung DN 800 vorliegt. Folglich wurde die Leistungsfähigkeit des Dükers seinerzeit deutlich überschätzt, weshalb ohne seine Berücksichtigung von einer besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse mit der HWGK ausgegangen wird.

Im Zuge der Berechnungen in HEC-RAS zeigte sich, dass der derzeit festgesetzte Freibord von 0,5 m bereits ab einem HQ₂ verletzt wird. Gewässerübertritte sind bis inklusive eines Hochwasserabflusses HQ₂₀ allerdings nicht zu erwarten. Bei einem HQ₅₀ und Hochwassern größerer Jährlichkeit überschreitet der Wasserspiegel indes die nördliche Gerinneoberkante. In der Folge ist mit Überflutungen in Richtung des angrenzenden Wohngebietes zu rechnen.

Plausibilisierung der HWGK

Anstelle der üblichen Methodik wendete man für die HWGK entlang des Sulzbächles ein Vorgehen für Kleinstgewässer an. War der Freibord nicht eingehalten, wurde der Wasserspiegel fiktiv hinter die Hochwasserschutzanlage gesetzt. Dies geschah stets in einem begrenzten Abschnitt, abhängig von einer Interpretation der Geländeverhältnisse, aber länger als die Strecke der Freibordverletzung. Breschenstellen wurden nicht gerechnet. Die Überflutungsflächen und -tiefen ergaben sich durch eine anschließende Verschneidung der Wasserspiegellagen mit dem Geländemodell. Die tatsächlichen Ausbordungsmengen wurden anhand von groben Volumenermittlungen abgeschätzt.

Im Rahmen dieses Vorgehens konnten die HWGK mit den errechneten Wasserspiegellagen aus HEC-RAS weitestgehend bestätigt werden. Gleichwohl wurde festgestellt, dass die HWGK für ein HQ₁₀ nicht korrekt ist. Die Berechnung von Überflutungsflächen aufgrund von Freibordverletzungen ist für ein HQ₁₀ nicht gültig. Entsprechende Flächen werden ausschließlich bei direkten Überflutungen angegeben, wovon entlang des Sulzbächles nicht auszugehen ist.

Hydraulische Leistungsfähigkeit des Dükers

Dessen ungeachtet zeigte sich, dass die in der aktuellen HWGK angezeigten Überflutungen nicht mehr als zutreffend betrachtet werden können. Da die Abflussleistung des Dükers (**Abbildung 8**) durch die maximal mögliche Stauhöhe von 1,80 m im Zulaufgerinne auf $Q_{D,max} = 1,40 \text{ m}^3/\text{s}$ (HQ₅₀ = $1,58 \text{ m}^3/\text{s}$) beschränkt ist, stellt er einen limitierenden Faktor für die hydraulische Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems dar. Folglich ist von deutlich größeren Stauhöhen vor dem Dükereinlauf und einer Überlastung des Gerinnes oberstrom auszugehen. Die tatsächliche Hochwassersituation ist im Vergleich zu der derzeit gültigen HWGK deutlich verschärft.

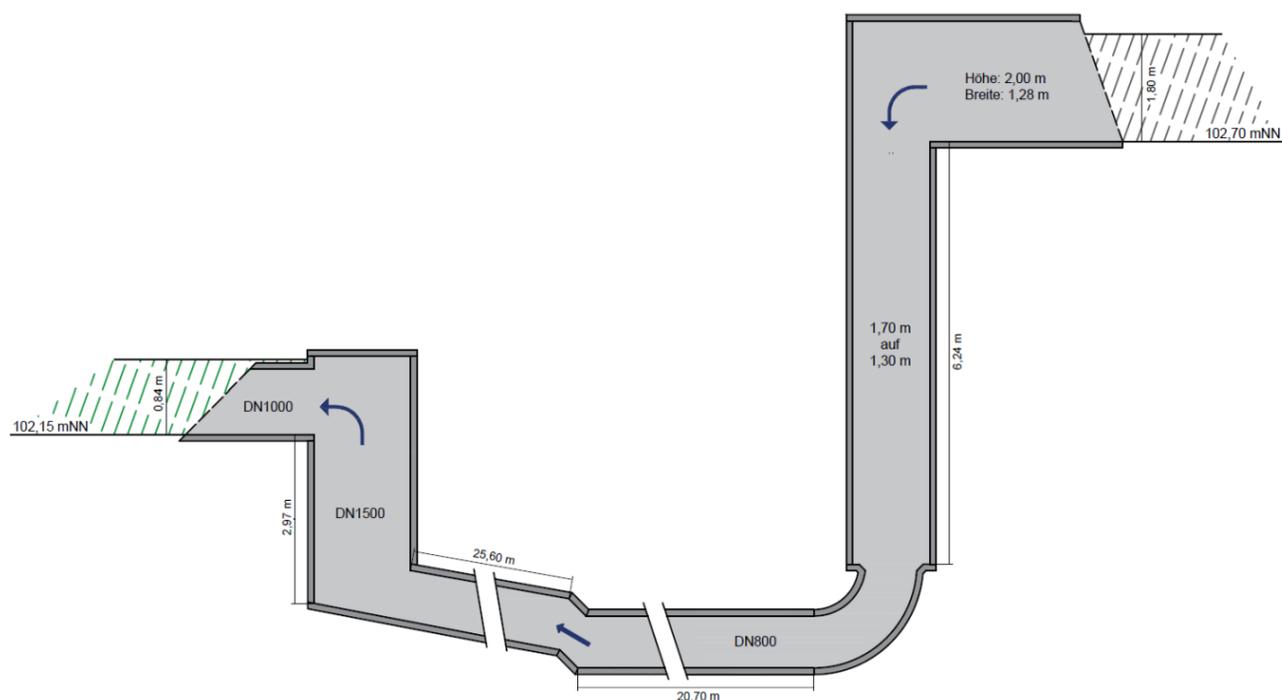


Abbildung 8: Skizze des Dükers im Längsschnitt (eigene Zeichnung)

Empfehlung von Maßnahmen

Angeht die beengten Platzverhältnisse und der geringen Vorwarnzeit sind die Möglichkeiten für Hochwasserschutzmaßnahmen beschränkt. Flächenvorsorge oder mobiler Hochwasserschutz scheiden insofern aus. Maßgebend ist der Schutzgrad HQ_{100} . Vor diesem Hintergrund wurden auf Grundlage der hydraulischen Berechnungen verschiedene Maßnahmen vorgestellt. Die Möglichkeiten einer Dükererweiterung, einer Erhöhung der Hochwasserschutzanlage (HWSE) sowie einer Umgestaltung des Gerinnes wurden im Zuge von zwei konkreten Umsetzungsvorschlägen (Grundmaßnahme + Ergänzende Maßnahme) dimensioniert.

Grundmaßnahme: Erweiterung des Dükerbauwerkes

Die hydraulischen Berechnungen ergaben zu große Stauhöhen vor dem Düker, als dass es praktikabel wäre, lediglich das Gerinne anzupassen. Daher wurde eine Erweiterung des Dükers als Grundmaßnahme in jedem Fall als erforderlich erachtet. Die maßgebenden Anforderungen sind der ausreichende Feststofftransport sowie die Reduktion des Aufstaus auf ein verträgliches Maß. Es wurde ermittelt, dass sich dies beispielsweise über die Erweiterung des Dükers um eine zweite Leitung DN 800 erreichen ließe.

Da der mindestens erforderliche Schutzgrad von einem HQ_{100} bereits ohne die Berücksichtigung des Dükers nicht eingehalten ist, müssten zudem ergänzende Maßnahmen am Gerinne umgesetzt werden, wobei diese als Alternativen zu sehen sind.

Ergänzende Maßnahme 1: Erhöhung der HWSE

Die mindestens erforderliche Erhöhung ergibt sich aus der Überstauhöhe an der nördlichen Gerinneoberkante, welche durch eine Verschneidung der Ergebnisse aus HEC-RAS und der hydraulischen Berechnung des Dükers ermittelt wurde, plus dem festgesetzten Freibord. Exemplarisch ist eine mögliche Ausgestaltung in **Abbildung 9** skizziert. Zwei Brücken, die den Bachlauf queren, wurden für diese Variante als Problemstellen identifiziert. Umbauarbeiten oder zusätzliche punktuelle Maßnahmen im Brückenbereich wären erforderlich.

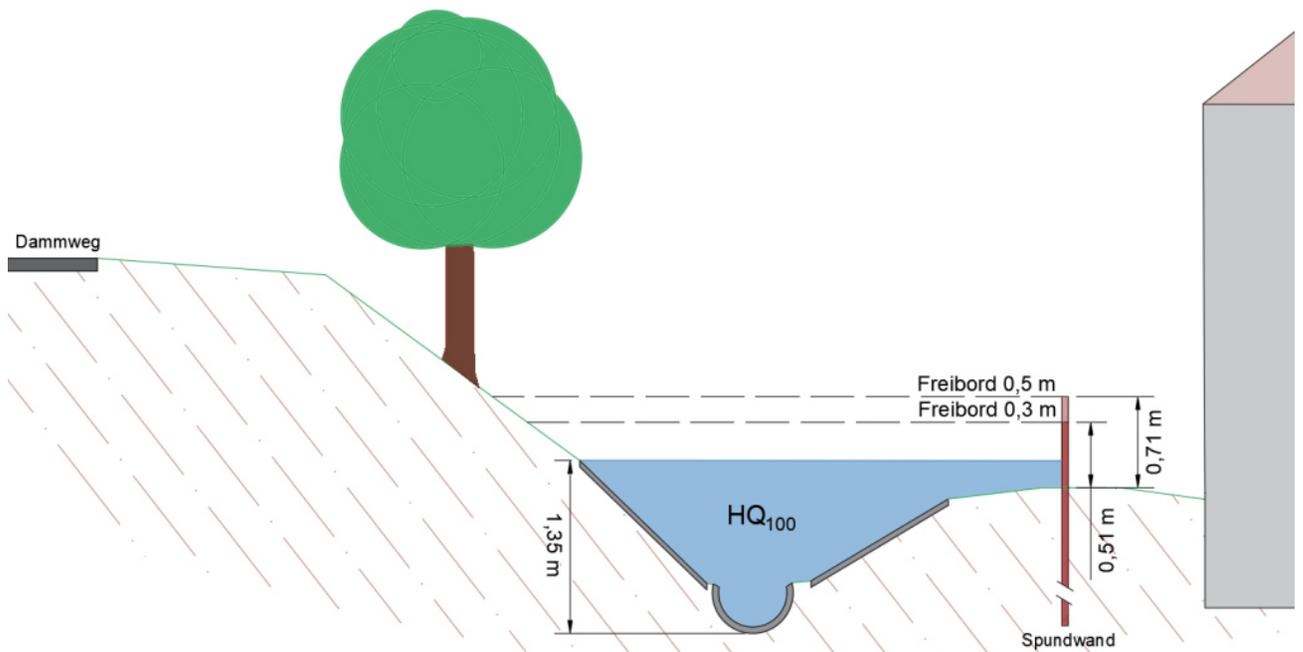


Abbildung 9: Erhöhung der HWSE mit einer Spundwand bei einem HQ_{100} (eigene Zeichnung)

Ergänzende Maßnahme 2: Umgestaltung des Gerinnes

Aufgrund des geforderten Mindestabstands zu den Bäumen in der Böschung und eines gewählten Sicherheitsabstandes zum Gebäudebestand stehen für einen Gerinneausbau als alternative ergänzende Maßnahme an der engsten Stelle rund 2,50 m zur Verfügung. Beispielhaft wurde diese Breite

für den gesamten Abschnitt festgesetzt und ein entsprechendes Gerinne in HEC-RAS modelliert. Es ergaben sich deutlich geringere Wassertiefen. Der Freibord würde sich auf 0,3 m reduzieren. Das Gerinne könnte folglich deutlich flacher gebaut werden als es derzeit der Fall ist. Eine mögliche Ausgestaltung ist in **Abbildung 10** exemplarisch skizziert. Würde das Gerinne entsprechend größer dimensioniert werden, bestünde überdies die Möglichkeit einer ökologischen Aufwertung des Gewässerabschnittes.

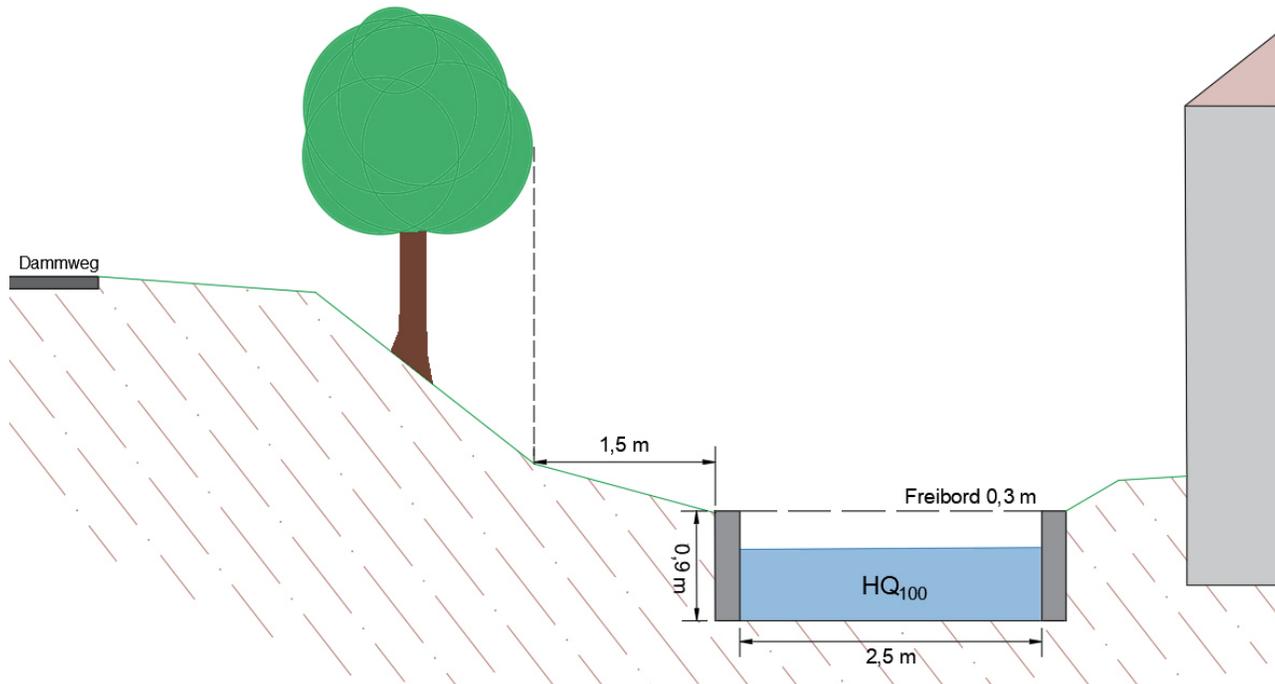


Abbildung 10: Ausbau zu einem Rechteckgerinne bei einem HQ100 (eigene Zeichnung)

Hydraulische Leistungsfähigkeit des Gerinnes unterstrom des Dükers

Die Abflussleistung des naturnah gestalteten Gerinnes wurde an einem exemplarischen Querprofil für den Zustand der Vollfüllung zu $Q = 1,08 \text{ m}^3/\text{s}$ bestimmt, was in etwa einem HQ₂₀ entspricht. Folglich war mit einem Rückstau zu rechnen, was wiederum die Abflussleistung des Dükers negativ beeinflusste. Bei Gewässerübertritten wäre zudem ein Überlaufen in Richtung der Kreisstraße nicht auszuschließen. Weiterhin zeigte sich, dass eine Räumung der Vorländer nur einen geringen Effekt hätte. Vielmehr sollte eine Umgestaltung des Gerinnes in Betracht gezogen werden. Dies müsste unter Berücksichtigung der voraussichtlich gesteigerten Abflussleistung des Dükers und des Gerinneabschnittes oberstrom geschehen.

Fazit

Mit der Masterarbeit stehen der Stadt Weinheim umfassende Daten zur Hochwassergefahr im betrachteten Gewässerabschnitt zur Verfügung. Die durchgeführten Untersuchungen und Berechnungen ermöglichen eine plausible Einschätzung der Situation und die Ableitung möglicher Handlungsoptionen. Die vorgestellten Maßnahmenkombinationen zeigen Wege auf, wie die Hochwassergefahr für das betroffene Wohngebiet beseitigt werden kann.

Untersuchung zu wirkenden Kräften auf bewegliche Wehre und zu repräsentativen Überfallbeiwerten

Masterthesis von Christian Helming am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Bauingenieurwesen

Veranlassung

Zur Stauzielerhöhung bei bestehenden Wehranlagen werden bevorzugt bewegliche Wehrtypen eingesetzt. Diese ermöglichen durch die Steuerung des Verschlusselements die Regulierung der Stauhaltung und des Abflusses. Die Josef Wiegand GmbH & Co. KG hat für diesen Zweck mit dem Federwehr, einen dynamischen, energieautarken Wehrständer entwickelt. Dieser soll ermöglichen das Stauziel unabhängig vom Abfluss konstant zu halten und bei einem Hochwasserereignis den vollen Abflussquerschnitt freizugeben. Dies erfolgt durch das Durchbiegen und Ablegen des Wehrständers bei steigendem Abfluss.

Im Rahmen eines durch das Land Hessen geförderten Forschungsprojekts wurden in Zusammenarbeit der Josef Wiegand GmbH & Co. KG und dem Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik der TU Darmstadt experimentelle Untersuchungen zur Weiterentwicklung und Optimierung des Federwehrs durchgeführt (**Abbildung 11**). Ziel der hier vorgestellten Masterarbeit war es, dass Federwehr hinsichtlich hydraulischer, statischer und geotechnischer Zusammenhänge zu untersuchen sowie Vergleiche zu anderen Wehrtypen herzustellen. Dabei lag der Schwerpunkt der Untersuchungen auf dem Überfallverhalten des Federwehrs, der einwirkenden Druckverteilung sowie der Betrachtung der Standsicherheit des gesamten Querbauwerks.

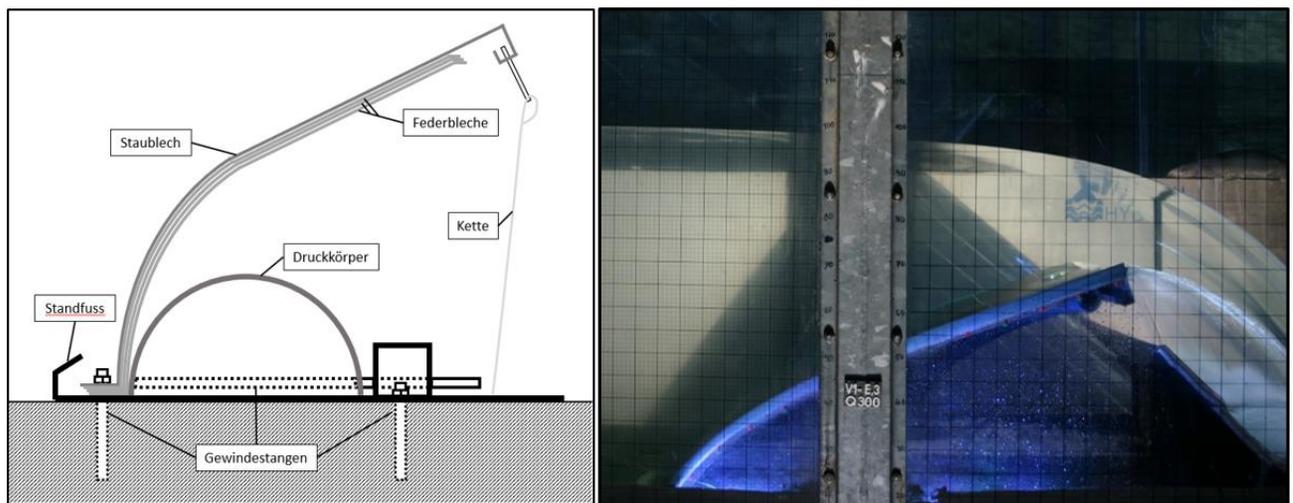


Abbildung 11: Technische Zeichnung des Federwehrs (links), Versuchsaufbau im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt (rechts)

Methodik

Konkret wurden die Untersuchungen an einem physikalischen Modell des Federwehrs (Maßstab: 1:1) durchgeführt. Dieses wurde an die Beschaffenheit der Versuchsrinne im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt angepasst und für die Erfassung der versuchsrelevanten Parameter mit geeigneter Messtechnik ausgestattet. Es wurden unterschiedliche Setups, die sich durch Anzahl, Größe und Dicke der Federbleche sowie durch verschiedene Variationen des Druckkörpers unterscheiden, betrachtet.

In den Versuchen wurden direkt bei der Beobachtung Erkenntnisse gewonnen sowie Messwerte erhoben, die als Parameter in die weiterführenden Rechnungen und als Basisdaten in numerische Simulationen eingingen. So fand im Zuge der Versuchsdurchführung die Aufzeichnung der Abflüsse, der

Wasserstände im Oberwasser, der Druckverteilung auf dem Staublech, der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit sowie die Erfassung des Konturverlaufs des Federwehrs statt.

Ergebnisse

Anhand der ausgewerteten Messdaten und unter Berücksichtigung unterschiedlicher theoretischer Ansätze sowie dem Vergleich zu anderen Wehrtypen konnten folgende Erkenntnisse bezüglich der Untersuchungsschwerpunkte gewonnen werden.

In der Literatur sind eine Vielzahl an Ansätzen zur Beschreibung des Überfallverhaltens an einem Wehr, die auch auf das Federwehr übertragbar sind, gegeben. Diese sind stark von dem empirisch bestimmten formbezogenen Überfallbeiwert abhängig. Bei beweglichen Wehren, zu denen auch das Federwehr gehört, ist der Überfallbeiwert zusätzlich von der Biegung des Wehres abhängig und muss im Zusammenhang mit den Wehrtyp charakterisierenden Parametern betrachtet werden. Für das Federwehr ergibt sich nach Polenis Ansatz, welcher sich in der Praxis durchgesetzt hat, ein Überfallbeiwert von ca. 0,64 - 0,75. Es zeigt sich, dass der Überfallbeiwert bei steigendem Abfluss zunimmt (**Abbildung 12**). Dabei ändert sich die Kontur des Federwehrs bei steigendem Abfluss von einem leicht geneigten scharfkantigen Wehr zu einem abgerundeten breitkronigen Wehr. Dies spiegelt sich in den korrespondierenden Überfallbeiwerten wider.

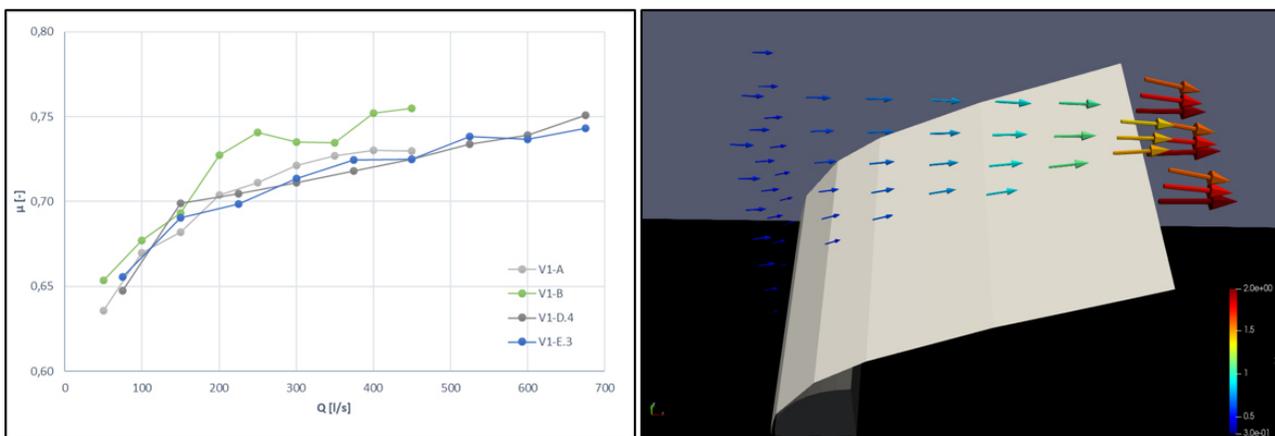


Abbildung 12: Überfallbeiwert in Abhängigkeit des Abflusses (links), Strömungsverhältnisse im Überfallstrahl (rechts)

Zur Ermittlung der Druckverteilung auf das Federwehr ist neben dem rein hydrostatischen Anteil ein erheblicher hydrodynamischer Beitrag zu berücksichtigen. Durch die Einschnürung des Überfallstrahls, ist neben dem Anstieg der Fließgeschwindigkeit Richtung Wehrkante eine Änderung des Profils der Fließgeschwindigkeit über die Wassertiefe festzustellen. Dadurch ergeben sich an der Wasseroberfläche andere Druckverhältnisse als direkt auf dem Staublech. Somit lässt sich der tatsächlich auf das Staublech wirkende hydrostatische Druck nicht wie bei einer ruhenden Flüssigkeit anhand des Wasserspiegels beschreiben. Aufgrund der elastischen Materialeigenschaften der Bleche weisen die Kontur des Federwehrs und die Druckverteilung eine dynamische Abhängigkeit auf. Mit steigendem Abfluss nimmt der Wasserstand über dem Federwehr und somit der einwirkende Druck zu. In Folge dessen biegt sich das Federwehr durch, bis sich ein Gleichgewicht zwischen dem einwirkenden Druck und der auf der Blechbiegesteifigkeit beruhenden Federkraft einstellt (**Abbildung 13**).

Mittels der Analyse der mechanischen Gleichgewichte und den standardisierten geotechnischen Nachweisverfahren werden auf Basis der experimentell bestimmten Druckverteilung die auftretenden Kräfte mit hinreichender Genauigkeit ermittelt. Es zeigt sich bei dem exemplarisch betrachteten Wehr, dass trotz der Zusatzbelastung durch die Stauzielerhöhung der Großteil der Nachweise erfüllt wird. Die Stauzielerhöhung hat eine Steigerung sowohl der destabilisierenden als auch der stabilisierenden Einwirkungen auf die Standsicherheit des gesamten Querbauwerks zur Folge, wodurch es für die meisten Versagensfälle zu keiner grundlegenden Verschlechterung des Originalzustandes kommt. Das

hydraulische Versagen hingegen muss besonders berücksichtigt werden, da dieses das größte Gefährdungspotenzial birgt. Gegebenenfalls sind diesbezüglich Maßnahmen zur Gewährleistung der Standsicherheit zu ergreifen.

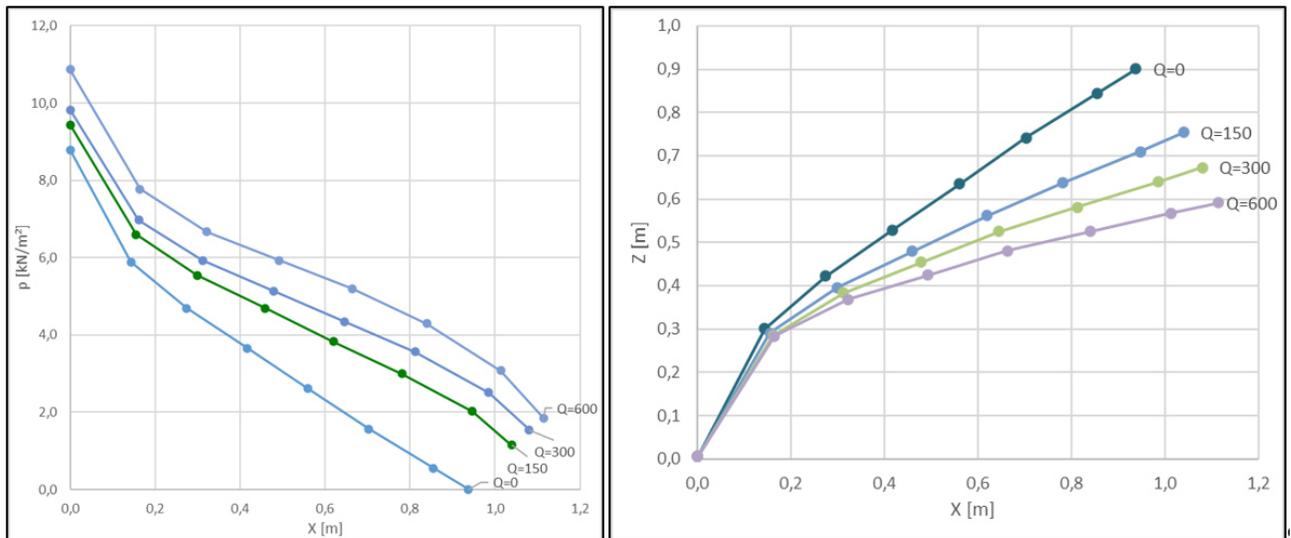


Abbildung 13: Druckverläufe (links) und Staublechkontur (rechts) bei unterschiedlichen Abflüssen [l/s]

Fazit und Ausblick

Durch die mehrfache Erfassung der einzelnen Kennwerte anhand von unterschiedlichen Messmethoden wurde die Genauigkeit der Messergebnisse überprüft. Die Messmethoden ergänzten sich und trugen bei den gegebenen Toleranzen zur Stabilisierung der Messergebnisse bei. Da einige der Kennwerte sensibel auf kleinste Änderungen der Versuchsmessgrößen reagieren, ist für eine noch genauere quantitative Betrachtung die Präzision der Messauflösung zu erhöhen.

Trotz unterschiedlicher Funktionsprinzipien lassen sich Parallelen zwischen dem Federwehr und einer einfachen Klappe sowie einer Fischbauchklappe erkennen. Es sind zwar keine exakten Übereinstimmungen, jedoch Ähnlichkeiten beim Überfallverhalten sowie den auftretenden Kräften und deren Auswirkung auf die Standsicherheit festzustellen.

Aufgrund der komplexen Abhängigkeiten zwischen Strömungsparametern, Kräften sowie der Bewegung und Verformung des Federwehrs ist eine genauere Betrachtung des Biegeverhaltens des Federwehrs nur mit Hilfe eines modellgestützten Simulationsprogramms möglich.

Zur Stauzielerhöhung an einem bestehenden Wehr bietet sich das Federwehr aufgrund seines einfachen Aufbaus, eines geringen Wartungsaufwandes und einem gleichzeitig guten Überfallverhalten an. Jedoch ist das System hinsichtlich einer konstanten Stauzielhaltung noch zu optimieren. Dabei ist das Abstimmen der Biegesteifigkeit der Federbleche auf den einwirkenden Wasserdruck im Besonderen zu betrachten.

Entwicklung eines Wasserkraftprojekts in Süd-ostafrika

Masterthesis von Alexander Kaub am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik in Kooperation mit Fichtner GmbH & Co. KG

Studiengang: Bauingenieurwesen

Veranlassung

Die Entwicklung einer Wasserkraftanlage umfasst eine Vielzahl von Planungsschritten bis zum ersten Entwurf mit technischen Parametern für potentielle Investoren. Im Rahmen dieser Masterthesis wird ein konkretes Beispielprojekt in Malawi in Südostafrika bearbeitet und eine Vormachbarkeitsstudie für die Entwicklung der Wasserkraftanlage erstellt. Die Firma Fichtner GmbH & Co. KG stellt auf Grundlage des Analysetools HyPIT ein Projektgebiet mit vorläufigen Parametern zur Verfügung (**Abbildung 14**).



		HyPIT Daten
Projektname	(-)	P017
Wasserkraftwerkstyp	(-)	Laufwasser
Fallhöhe	(m)	143,00
Bemessungsdurchfluss	(m ³ /s)	11,50
Anlagenfaktor	(-)	0,48
Installierte Leistung	(MW)	13,71
Höhe Wehrkrone	(m ü. NN)	1035,00
Höhe Wehrfundament	(m ü. NN)	1020,00
Höhe Kanaleinlauf	(m ü. NN)	1033,00
Kanallänge	(km)	3,95
Druckleitungslänge	(km)	0,640

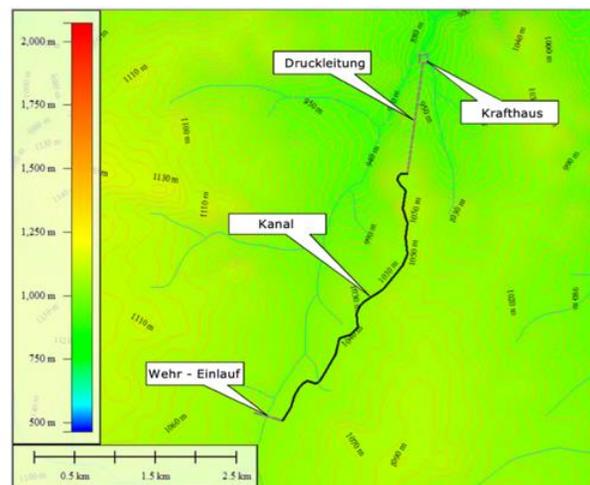


Abbildung 14: Eingangsdaten (links) und erster Projektentwurf des Analyse-Tools HyPIT (rechts) Quelle: Fichtner

Vorgehensweise bei der Vormachbarkeitsstudie

Die Grundlagenkapitel der Vormachbarkeitsstudie befassen sich mit den Themen Hydrologie, Geologie und Topographie. Sie beschreiben die örtlichen Voraussetzungen im Gelände (**Abbildung 15**, links), des Bodens und der Erdbebenaktivität sowie die hydrologischen Bedingungen des Flusses, wie beispielsweise die Abflussdauerlinie (**Abbildung 15**, rechts), für die Entwurfsplanung.

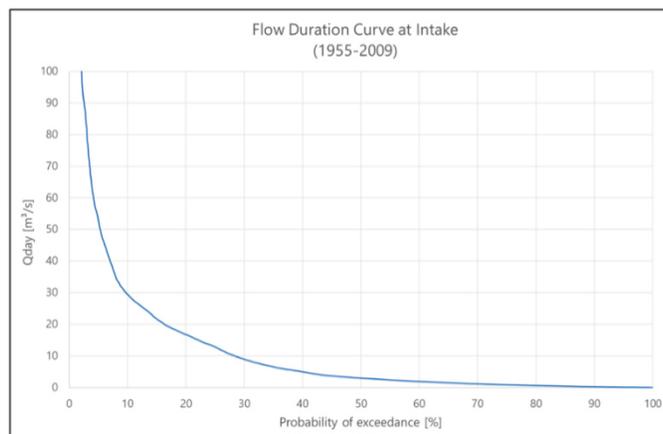
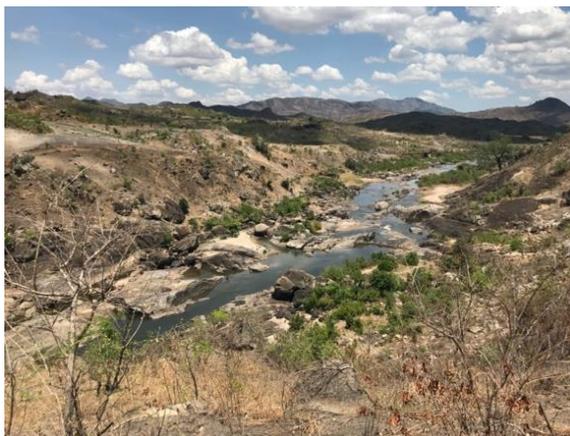


Abbildung 15: Eindrücke durch die örtliche Begehung eines Fichtner Mitarbeiters (links, Foto: Fichtner) und Abflussdauerlinie am Einlaufbereich zur Festlegung des Bemessungsabflusses (rechts)

In den Auswahlkapiteln werden die Betriebsweise, die Anordnung der Bauwerke, der Turbinentyp und der Bemessungsdurchfluss für die gesamte Wasserkraftanlage dimensioniert und bemessen. Dabei werden zunächst verschiedene Varianten im gesamten Projektgebiet erstellt und anschließend auf Grundlage der leistungsmäßigen und finanziellen Auswirkungen verglichen und bewertet. Mit Berechnungen der Flutwahrscheinlichkeit, des maximalen Drucks in der Druckrohrleitung und den Abflussbedingungen werden die einzelnen Bauwerke ausgelegt bzw. deren Versagenssicherheit überprüft.

Dazu gehören u.a. Wehr, Einlauf, Freispiegelleitung, Druckleitung und Krafthaus. Der maximale Druck in der Druckrohrleitung wird über eine Druckstoßberechnung für verschiedene Lastfälle bestimmt (**Abbildung 16**). Die anschließende Festlegung des Planungsentwurfs und die Parameter Durchfluss, Fallhöhe und Anlagenwirkungsgrad berechnen die installierte Leistung sowie die Energieproduktion pro Jahr. Anschließend werden die Baukosten für die Entwurfsbauwerke mit Hilfe von gängigen Einheitspreisen für das Projektgebiet ermittelt. Hierzu werden die Massen und Maße der Bauwerke mit grundlegenden Formeln und mit dem entwickelten Software-Tool HypApp (der Firma Fichtner) berechnet. Die finanzielle Analyse spielt eine tragende Rolle für die Machbarkeit des Projektes, da sie ausschlaggebend für potentielle Investoren und die Umsetzung ist. Mit Parametern wie dem Kosten-Nutzen-Faktor und dem Vergleich der Kapitalwerte kann die Wasserkraftanlage wirtschaftlich eingestuft werden. Diese Analyse entscheidet über die weiteren Entwicklungsphasen (Machbarkeitsstudie, Ausschreibungsunterlagen und Bauausführung) des Projektes. Abschließend wird in der Studie auf den Umweltaspekt eingegangen, der für die weiteren Planungsphasen eine wichtige Funktion einnimmt. Mit einer Umweltverträglichkeitsprüfung und der Analyse des sozialen Einflusses kann die Projektentwicklung mit weiteren Randbedingungen versehen werden.

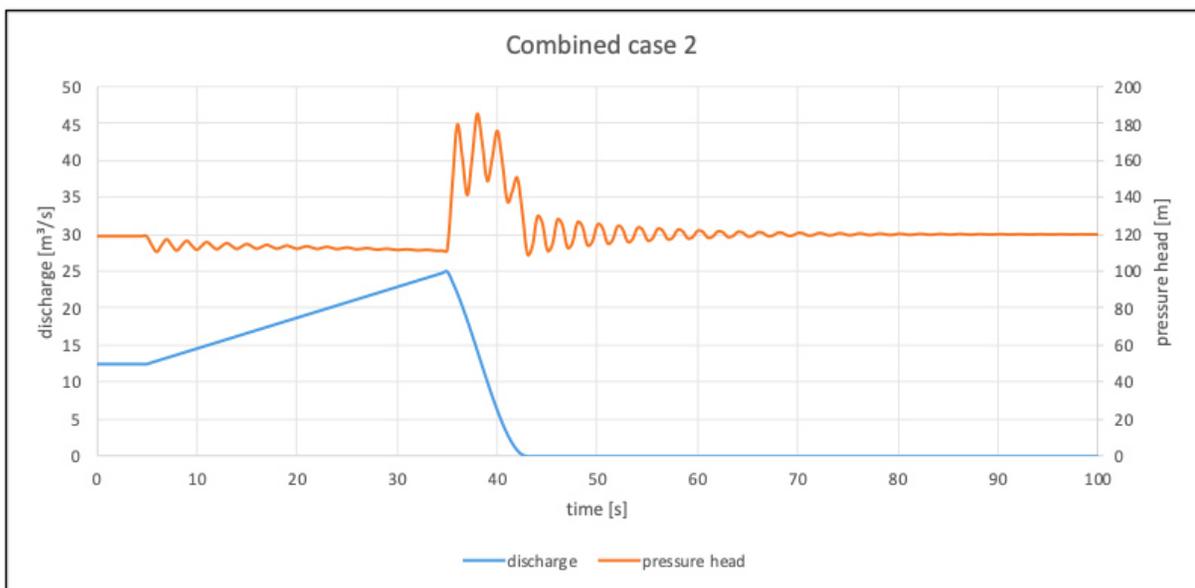


Abbildung 16: Druckstoßverlauf am Turbineneingang (orangene Linie) im kombinierten Lastfall bei Zuschaltung der 2. Turbine auf Volllast und anschließendem Versagensfall

Ergebnisse und Benutzerhandbuch

Die Vormachbarkeitsstudie betrachtet die Entwurfsplanung der Wasserkraftanlage, die voraussichtlichen Kosten und die mögliche Energieproduktion. Die Wasserkraftanlage wird als Ausleitungskraftwerk mit einem Speicherreservoir, einer Freispiegelleitung und einer Druckrohrleitung geplant (**Abbildung 17**).

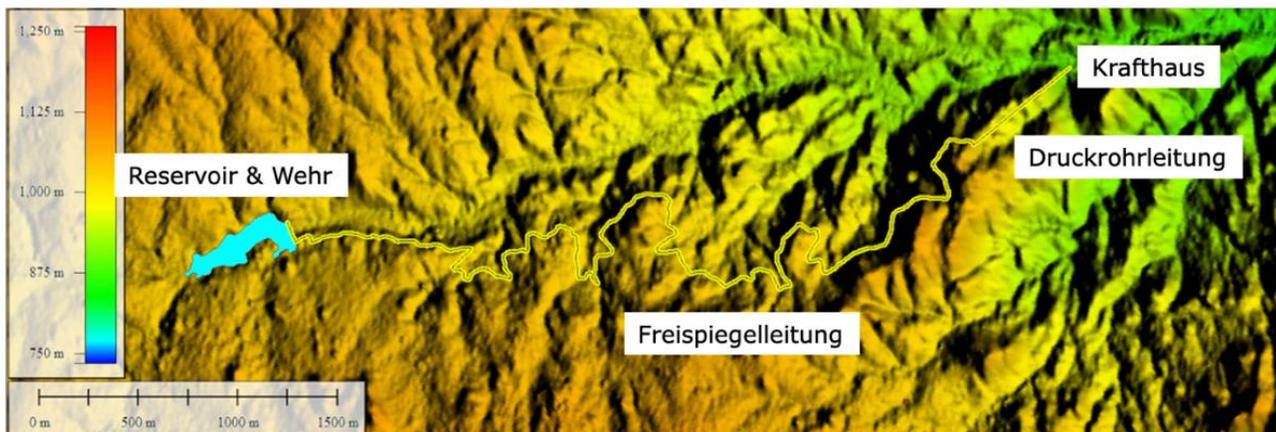


Abbildung 17: Projektentwurf und Verlauf der Wasserwege im WorldDEM TM

Mit der Tagesspeicherbetriebsweise wird eine tägliche Energieerzeugung garantiert, da das Reservoir für die tägliche Wasserspeicherung genutzt wird. Die Gesamtkosten für die 25.6 MW Anlage liegen bei etwa 56.3 Millionen US Dollar. Eine jährliche Energieerzeugung von 77.7 GWh stellt den Umsatz und die Rentabilität der Wasserkraftanlage sicher. Die geplante Wasserkraftanlage kann eine wichtige Rolle für das Land Malawi einnehmen, da der Energiesektor dort stark von Wasserkraft geprägt ist. Durch die Nähe zur Landeshauptstadt und die flexible Energieerzeugung stellt die Anlage eine gute Ergänzung in Spitzenzeiten dar. Das Ergebnis der Vormachbarkeitsstudie zeigt, dass eine weiterführende Entwicklung der Wasserkraftanlage empfohlen wird.

Auf Grundlage dieser Vormachbarkeitsstudie ist ein allgemeines Benutzerhandbuch für die Entwicklung von Wasserkraftprojekten erstellt worden. Dieses kann als Leitfaden genutzt werden und zeigt die einzelnen Planungsschritte bis hin zur Analyse der Machbarkeit (Tabelle 2).

Tabelle 2: Projektparameter der Vormachbarkeitsstudie im Vergleich zu den Eingangsdaten von HyPIT

		HyPIT Daten	Vormachbarkeitsstudie
Projektname	(-)	P017	Chiowa HPP
Wasserkraftwerkstyp	(-)	Laufwasser	Tagesspeicher
Fallhöhe	(m)	143,00	123,00
Bemessungsdurchfluss	(m ³ /s)	11,50	25,00
Anlagenfaktor	(-)	0,48	0,35
Installierte Leistung	(MW)	13,71	25,6
Höhe Wehrkrone	(m ü. NN)	1035,00	1023,00
Höhe Wehrfundament	(m ü. NN)	1020,00	1011,50
Höhe Kanaleinlauf	(m ü. NN)	1033,00	1019,00
Kanallänge	(km)	3,95	6,30
Druckleitungslänge	(km)	0,640	0,616
Entfernung zur Übertragungsleitung	(km)	11,40	10,0
Übertragungsleitungsqualität	(km/MW)	1,66	0,40
Entfernung zu Zufahrtsstraßen	(km)	0,72	0,60
Zufahrtsqualität	(km/MW)	0,050	0,023
Schutzgebiete	(-)	außerhalb	außerhalb

Auswirkungen von Wasserqualität und Feststoffen auf Wärmequellenanlagen in Fließgewässern und Entwicklung von Gestaltungsempfehlungen für konstruktive Schutzmaßnahmen

Masterthesis von Franziska Baunach am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften



Veranlassung

Der weltweit steigende Bedarf an Energie stellt eine der grundlegenden Herausforderungen der heutigen Zeit dar. Bislang wird die wachsende Energienachfrage überwiegend durch die Verbrennung fossiler Energieträger gedeckt. Angesichts des fortschreitenden Klimawandels und der Endlichkeit von Energierohstoffen gewinnt jedoch die Nutzung von thermischer Energie aus regenerativen Quellen mithilfe von Wärmepumpen zunehmend an Bedeutung. Auch Fließgewässer verfügen über ein großes Potenzial an thermischer Energie und können somit als Wärmequelle herangezogen werden. Der Betrieb von Wärmequellenanlagen in Fließgewässern ist jedoch mit einigen Herausforderungen verbunden, da insbesondere Einflüsse der Wasserqualität und mitgeführtes Feststoffmaterial zu einer Beeinträchtigung der Wärmeentzugsleistung sowie mechanischen Schäden an der Anlage führen können. In dieser Arbeit wurden die relevanten Wasserqualitätsparameter ermittelt und deren Auswirkungen auf den Betrieb von Wärmequellenanlagen in natürlichen Fließgewässern anhand experimenteller Untersuchungen analysiert. Zudem erfolgte eine Betrachtung von potenziellen Beeinträchtigungen durch verschiedene Feststoffarten im Fließgewässer und die Entwicklung von Gestaltungsempfehlungen für konstruktive Schutzmaßnahmen.

Biologisches Wachstum an Wärmeübertragungsflächen

Im laufenden Betrieb von Wärmeübertragern treten Verschmutzungen und Ablagerungen an den wärmeübertragenden Flächen auf. Dieser Vorgang, auch als Fouling bezeichnet, führt zu einem erhöhten Wärmeübergangswiderstand und infolgedessen zu einer verringerten Entzugsleistung des Wärmeübertragers. Der Foulingprozess kann durch verschiedene Mechanismen hervorgerufen werden, wobei für Wärmequellenanlagen in natürlichen Fließgewässern eine erhöhte Anfälligkeit gegenüber den Vorgängen der Korrosion, Sedimentation und insbesondere des biologischen Wachstums besteht.

Dabei lagern sich Mikroorganismen auf den wärmeübertragenden Flächen an und erzeugen dort einen sogenannten Biofilm. Dieser führt aufgrund seiner isolierenden Wirkung zu einer Reduzierung des Wärmestroms und somit zu einem eingeschränkten Betrieb der Wärmequellenanlage. Bedingt durch die raue Oberfläche und deren viskoelastischen Eigenschaften verursacht der Biofilm darüber hinaus eine Erhöhung des Reibungswiderstands an den wärmeübertragenden Flächen. Damit wird das Auftreten weiterer Foulingmechanismen, wie beispielsweise die Ablagerung von suspendierten anorganischen Partikeln, zusätzlich begünstigt.

Die grundlegenden Voraussetzungen für die Entstehung und das Wachstum von Biofilmen liegen in der Verfügbarkeit von Mikroorganismen sowie einer ausreichenden Nährstoffzufuhr. In natürlichen Fließgewässern herrschen damit optimale Bedingungen für das biologische Wachstum an den Flächen der eingesetzten Wärmequellenanlagen.

Experimentelle Untersuchungen

Im Rahmen dieser Arbeit erfolgte eine Untersuchung verschiedener Wärmeübertragungssysteme für den Einsatz in natürlichen Fließgewässern. Dafür wurden sowohl strömungs- als auch wärmetechnische Messungen durchgeführt und die Ergebnisse hinsichtlich der Wärmeentzugsleistung sowie den umgebenden Strömungsbedingungen ausgewertet. Die messtechnische Erfassung der Daten erfolgte am wärmeströmungstechnischen Prüfstand des Fachgebiets für Wasserbau und Hydraulik an der Technischen Universität Darmstadt.

Die Auswirkungen des biologischen Wachstums wurden anhand der Wärmeübertragersysteme „Spiralmuster“ und „Stegplattenmuster“ untersucht. Um eine Ablagerungsbildung an den wärmeübertragenden Flächen hervorzurufen, wurden diese in einen speziell dafür angelegten Aufwuchsbehälter eingebracht, dessen stoffliche Beschaffenheit einem natürlichen Fließgewässer nachempfunden wurde. Nach einem Verbleib von ca. 6 Wochen unter diesen Bedingungen zeigten die Wärmeübertrager deutliche Anzeichen von Biofilmbildung (**Abbildung 18**).



Abbildung 18: Optische Ablagerungsbildung am Beispiel des Wärmeübertragersystems „Stegplattenmuster“

Die Messungen der Wärmeentzugsleistung Q_{th} wurden in Abhängigkeit des Volumenstroms Q_{WQA} des Wärmeträgermediums für Temperaturdifferenzen zwischen 1,5 K und 6 K erfasst. In der nachstehenden **Abbildung 19** sind die jeweiligen Wärmeentzugsleistungen am Wärmeträgersystem „Stegplattenmuster“ für den unverschmutzten (blau) und den mit Biofilm belasteten Zustand (rot) dargestellt. Anhand der Kennlinien lässt sich eine Beeinträchtigung der Wärmeentzugsleistung infolge des Biofilmbewuchses deutlich feststellen.

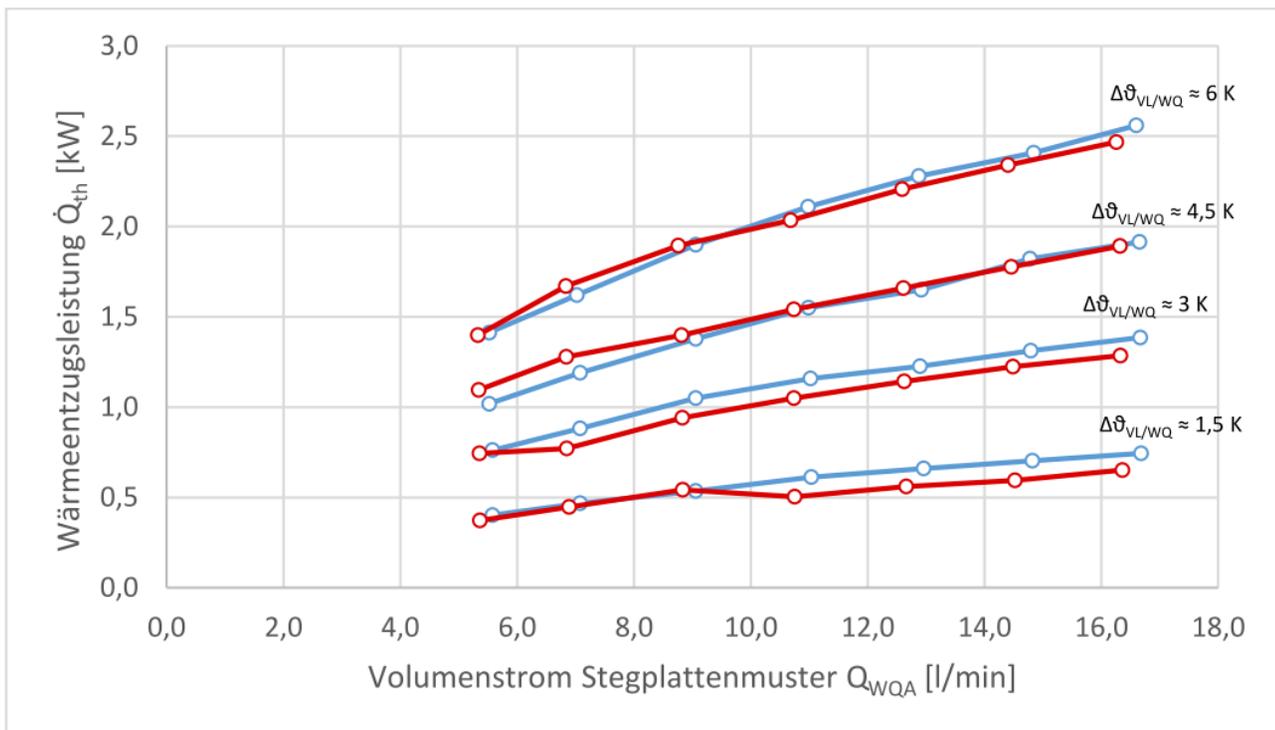


Abbildung 19: Messergebnisse am Wärmeübertragersystem „Stegplattenmuster“ (blau: unverschmutzter Zustand; rot: mit Biofilmbewuchs)

Feststoffe in Fließgewässern und konstruktive Schutzmaßnahmen

Verglichen mit Wärmepumpenanlagen, welche die Energiequellen Luft, Boden oder Grundwasser nutzen, sind die direkten Einwirkungen aus der Umgebung auf Wärmequellenanlagen in Fließgewässern wesentlich vielfältiger und meist schwieriger vorherzusehen. Natürliche Fließgewässer werden hinsichtlich ihrer Strömungsverhältnisse, der Wasserführung sowie der Wasserbeschaffenheit von zahlreichen Umgebungseinflüssen bestimmt. Durch das direkte Einbringen des Wärmeübertragers in den Flusslauf ist die Apparatur stets diesen wechselnden Bedingungen und den damit einhergehenden Risiken einer Beeinträchtigung des Anlagenbetriebs ausgesetzt.

Aufgrund von starken Strömungen, Schwankungen des Wasserstandes sowie mitgeführtem Treibgut können schwere Schäden an der Wärmequellenanlage verursacht werden. Diese Einwirkungen werden insbesondere durch extreme Niederschlagsereignisse bzw. die Abführung von Hochwasserwellen hervorgerufen. Infolge von hohen Fließgeschwindigkeiten, starken Strömungsdrücken und extremen Turbulenzen entsteht dabei ein mechanischer Angriff auf den im Fließquerschnitt befindlichen Wärmeübertrager. Die hohen Schleppkräfte im Gewässer bewirken zudem das Mitführen von großen Mengen an Treibgut mit teilweise erheblichem Ausmaß, welche bei einer Kollision mit dem Wärmeübertrager ebenfalls zu einer Beschädigung der Apparatur führen können.

Doch auch die feineren Partikel der Feststofffracht können Einschränkungen im Betrieb des Wärmeübertragers hervorrufen. Durch das Absetzen von Schweb- und Sinkstoffen kann es zu Sedimentationserscheinungen an den wärmeübertragenden Flächen und somit zu einer Erhöhung des Wärmedurchgangswiderstandes kommen. Neben diesen Ablagerungen ist außerdem eine Verlegung des Wärmeübertragers mit gröberen Schwimmstoffen und Treibgut möglich. Die Festsetzung dieser Materialien verhindert eine ausreichende Durchströmung des Wärmeübertragers und bedingt eine Veränderung der Anströmverhältnisse, wodurch sich zusätzliche Beeinträchtigungen des Wärmetransportvorgangs ergeben.

Bei der Konstruktion von Schutzvorrichtungen gegen die genannten Einwirkungen sind zwei wesentliche Kriterien zu berücksichtigen. Zum einen ist der Einlaufschutz so zu gestalten, dass er nicht als zusätzliches Strömungshindernis wirkt und folglich zu einer erhöhten Verlegung mit Schwemmgut führt. Die Konstruktion ist dafür in einer strömungstechnisch günstigen Form zu gestalten. Zum anderen besteht die Gefahr, dass infolgedessen eine Tangentialströmung entlang des Wärmeübertragers entsteht und damit keine ausreichende Durchströmung der wärmeübertragenden Flächen stattfindet. In beiden Fällen wäre eine verringerte Wärmezugsleistung sowie ein erhöhtes Foulingverhalten die Folge.

Bei der konstruktiven Gestaltungsempfehlung des Einlaufschutzes wurde ein Ausgleich zwischen diesen beiden Effekten geschaffen. Der gesamte Aufbau der Schutzvorrichtung (**Abbildung 20**) ist auf eine gleichmäßige und möglichst störungsfreie Durchströmung des Wärmeübertragers ausgelegt.

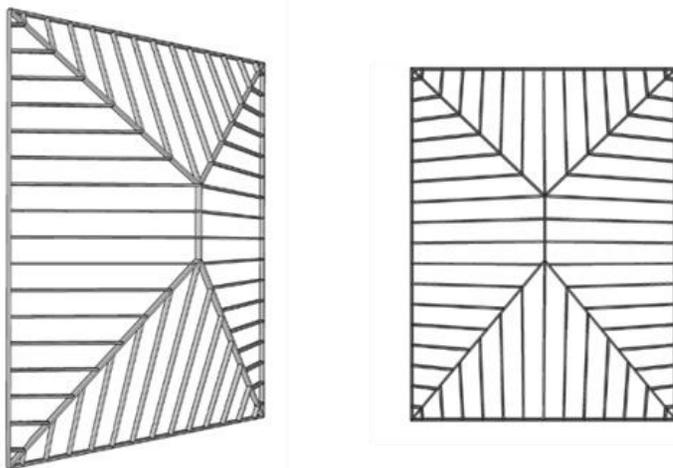


Abbildung 20: Mögliche Gestaltung eines Einlaufschutzes für rechteckige Wärmeübertrager (links: Schrägansicht, rechts: Frontalansicht)

Werden mehrere Wärmeübertrager zu einer größeren Anlage kombiniert, empfiehlt sich ein gemeinsamer Schutz aller installierten Wärmeübertrager durch das Einbringen eines Leitrechens im Oberlauf der Anlage. Dieser wird darauf ausgelegt, eine Leitströmung zu erzeugen und damit das anfallende Feststoffmaterial an den Wärmeübertragern vorbeizuführen. Auch hier ist jedoch eine ausreichende Anströmung der wärmeübertragenden Flächen sicherzustellen.

Fazit und Ausblick

Die experimentellen Untersuchungen haben gezeigt, dass das Wachstum von Biofilmen auf den wärmeübertragenden Flächen eine Beeinträchtigung der Wärmeentzugsleistung bewirkt. Diese Ergebnisse können jedoch nicht uneingeschränkt auf die praktische Anwendung von Wärmequellenanlagen in natürlichen Fließgewässern übertragen werden. In Abhängigkeit des verfügbaren Nährstoffangebots ist eine stärkere Biofilmentwicklung zwar möglich, allerdings ist die Wärmequellenanlage im Fließgewässer auch einer kontinuierlichen Strömungsbelastung ausgesetzt, wodurch das Wachstum des Biofilms wiederum gehemmt würde.

Insgesamt handelt es sich bei Wärmequellenanlagen um eine zukunftsfähige und vielversprechende Technologie, welche trotz verschiedenster Auswirkungen von Wasserqualität und Feststoffen auch in natürlichen Fließgewässern einsetzbar ist.

Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdaten auf ökohydrologische Modellergebnisse am Beispiel des Fischbach-Einzugsgebietes in Hessen

Masterthesis von Lukas Hofstetter am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Bauingenieurwesen

Hintergrund und Veranlassung

Der Gebietsabfluss als Teilkomponente des hydrologischen Wasserkreislaufs wird durch eine Vielzahl an Prozessen in Bezug auf die Abflussmenge und die Abflussverzögerung beeinflusst. Ein maßgeblicher Faktor ist die Landnutzung und die Bewirtschaftung von land- und forstwirtschaftlichen Flächen. Zur hydrologischen Modellierung stehen in Deutschland verschiedene Landnutzungsdaten zur Verfügung, die sich u.a. in thematischer und räumlicher Auflösung sowie der lizenzrechtlichen Verfügbarkeit unterscheiden. Das Ziel dieser Arbeit besteht darin, den Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdaten auf das konzeptionelle, ökohydrologische SWAT-Modell zu untersuchen.

Datenanalyse und Modellkonzeption

Es werden die grundlegenden Einwirkungen anthropogener Landnutzung auf die verschiedenen Komponenten des Wasserkreislaufs evaluiert. **Abbildung 21** zeigt drei in Deutschland gebräuchliche Datensätze der Landnutzung (CORINE Land Cover in zwei Auflösungen, ATKIS Landnutzung und Landbedeckung). Diese werden in Bezug auf den zugrundeliegenden Erfassungsstandard, ihre Aktualität sowie räumliche und thematische Auflösung analysiert und verglichen. Mit dem kostenfrei zugänglichen CORINE-Datensatz mit einer Mindestkartiereinheit von 10 ha wird das GIS-gekoppelte Modell SWAT für das Fischbach-Einzugsgebiet als Langzeitsimulation aufgestellt.



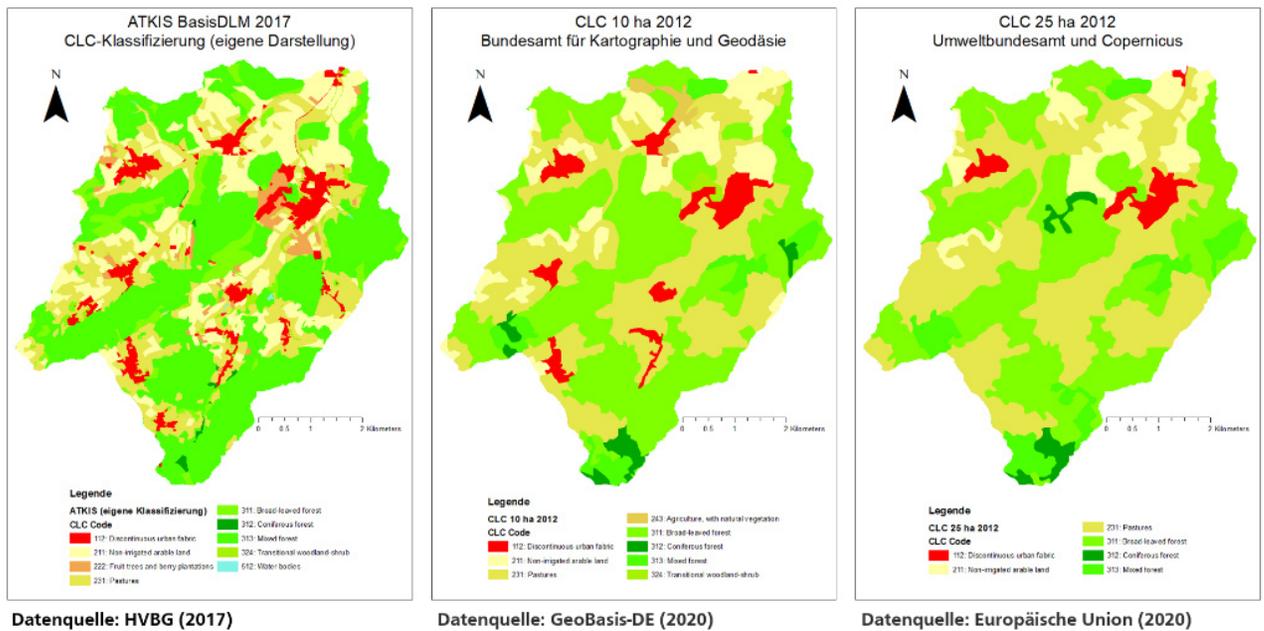


Abbildung 21: Analyisierte Landnutzungsdatensätze unterschiedlicher Auflösung

Landnutzung und Landmanagement sind ein Kernelement des SWAT-Modells. Einer der ersten Arbeitsschritte bei der Erstellung des Modells ist es, den ausgewählten Landnutzungsdatensatz mit den Bodendaten und Gefälleklassen zu den Modellierungseinheiten (HRUs) zu kombinieren. Dazu werden die CORINE-Klassen mit den SWAT-Klassen der Landnutzung bzw. Landbedeckung in der Datenbank verknüpft. Anhand der typischen Modellkonzeption und detaillierten Modellergebnisse wird der Einfluss der Landnutzungsdatensätze auf ebendiese beurteilt. Die allgemeine Modellgüte wird durch eine Sensitivitätsanalyse und Kalibrierung des Modells anhand des SUFI-2-Algorithmus in SWAT-CUP sichergestellt. Als Referenz zur Eichung des Modells dienen Durchfluss-Tageswerte des Gewässerpegels Groß-Bieberau 2.

Ergebnisse

Es werden ausreichende Modellergebnisse für den Modellierungszeitraum bezüglich visueller und quantitativer Gütekriterien erzielt. Innerhalb der Kalibrierung werden eine Nash-Sutcliffe-Efficiency (NSE) von 0,62 und ein Prozentuales Bias (PBIAS) von 5,5 erreicht, für die Validierung eine NSE von 0,47 und ein PBIAS von -9,1. Die in **Abbildung 22** dargestellten Abflussereignisse werden durch die Modellierung zeitlich und in regenreichen Jahren auch in der Größe gut getroffen. Weniger gut werden Trockenwetterabflüsse und die Größe der Spitzenabflüsse nach ebendiesen simuliert.

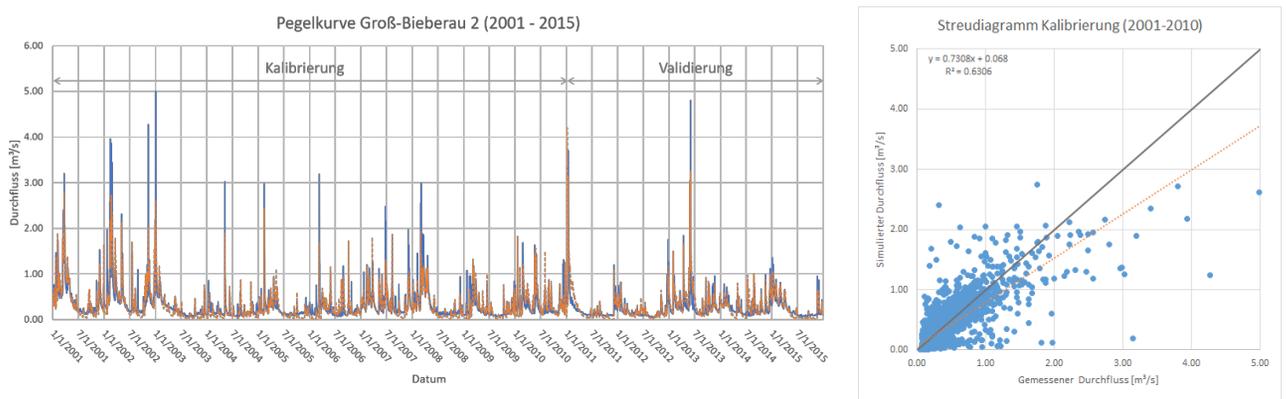


Abbildung 22: Visuelle und statistische Modellgütebewertung

Im Laufe der Bearbeitung und im Zuge der Auswertung der Modellergebnisse wird deutlich, dass die Kenntnis und korrekte Modellierung der Vegetation in Form von generellem und operationellem Management einen wesentlicheren Einfluss auf das SWAT-Modell hat als der ursprüngliche Landnutzungsdatensatz, der primär zur Modellverknüpfung dient.

Zu erkennen war für die ATKIS-Daten, dass eine kleinteilige Untergliederung der Landnutzung unpraktisch zur Verknüpfung mit den SWAT-Klassen ist. Eine Vorverarbeitung und Generalisierung kleinster Flächen ist deshalb notwendig. Es ist zudem üblich, die Anzahl der HRUs anhand von Grenzwerten zu reduzieren, wodurch anteilmäßig unbedeutendere Flächen nicht modelliert werden. Um die Vorteile des SWAT-Modells zur Analyse des klimatischen und anthropogenen Einflusses auf die Hydrologie, die Sedimentbewegungen und den Eintrag von Stoffen ins Gewässer zu nutzen, ist eine detaillierte Modellierung der einzelnen Landnutzungsflächen notwendig. Es ist demnach praktikabel und entscheidend, dass die Vegetation auf prägnanten oder generalisierten Flächen realitätsnah abgebildet wird.

Als wesentlich wird erachtet, dass die prozentualen Anteile der prägenden Landnutzungsformen abgebildet werden. Konkret ermöglicht langjährige Vegetationsbedeckung mit hoher Durchwurzelung im Fischbach-EZG den lateralen Zwischenabfluss und die vertikalen Sickervorgänge in den flachen Grundwasserleiter. Diese Vegetationsformen müssen deshalb in ihrer jahreszeitlichen und langjährigen Dynamik ansatzweise realitätsnah simuliert werden, um die Wechselwirkungen zwischen Phänologie und Abflusskomponenten richtig abbilden zu können (**Abbildung 23**).

Dies ist zudem relevant, um eine vegetationstypische Verdunstung zu erreichen. Zudem wird durch die HRU-Analyse der Vegetationsentwicklung und der Anteile des Gesamtabflusses auf verschiedenen Landnutzungsformen in **Abbildung 24** deutlich, dass vor allem die Anteile des Zwischen- und Grundwasserabflusses wesentlich durch das Wachstum von Vegetation beeinflusst werden.

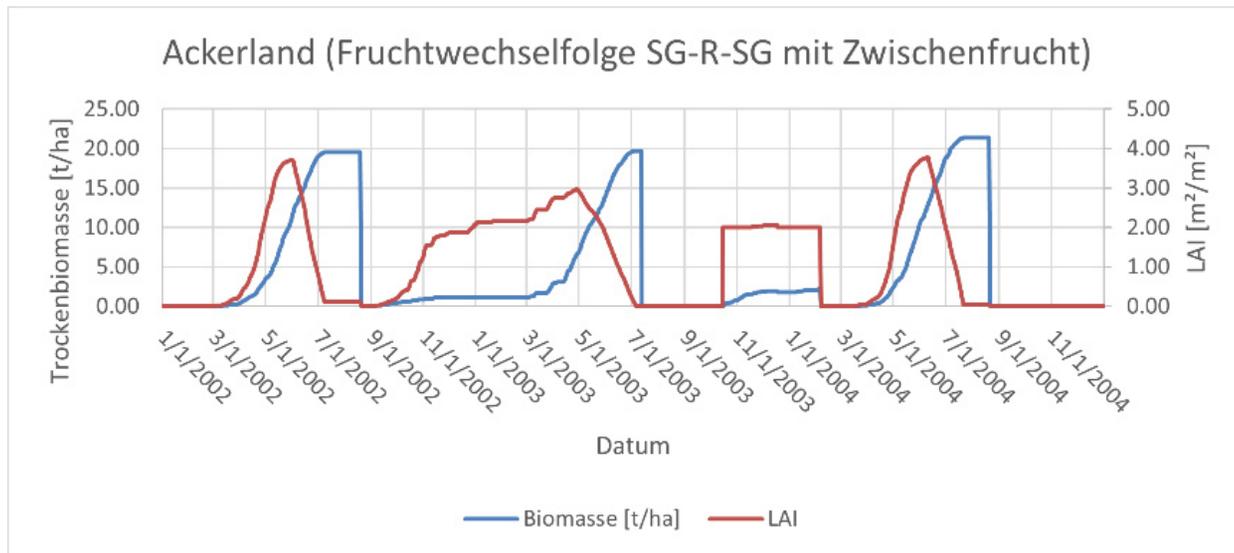


Abbildung 23: Analyse der Wechselwirkungen zwischen Phänologie und Abflusskomponenten

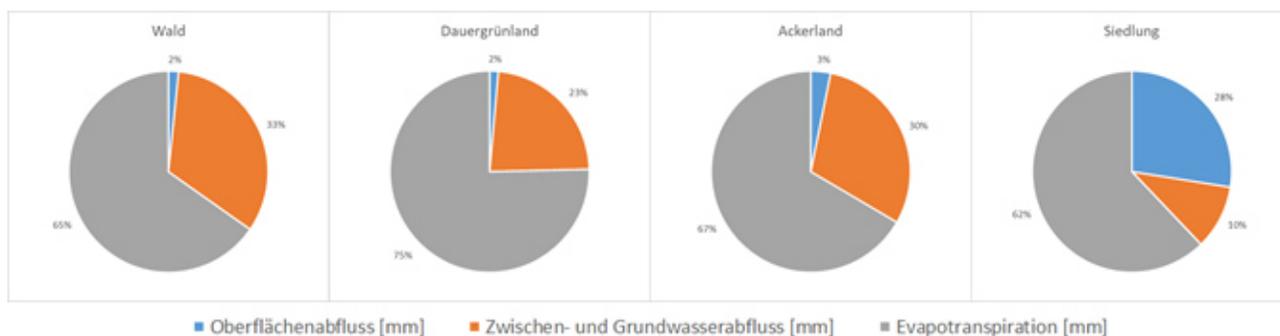


Abbildung 24: Anteil hydrologischer Kreislaufkomponenten je Landnutzung im Fischbach-EZG

Analyse von Niedrigwasser im Mittelgebirgs-einzugsgebiet Gersprenz mithilfe des SWAT-Modells

Masterthesis von Manuel Perschke am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Für das gemäßigte Klima der mittleren Breiten wird für die Zukunft eine Zunahme von extremen Trockenperioden, eine Abnahme der jährlichen Niederschlagsmenge und eine Veränderung der innerjährlichen Niederschlagsverteilung prognostiziert. Für ein integriertes Wasserressourcenmanagements ist es wichtig, die Auswirkungen bestimmter Klimaszenarien auf das Abflussregime von Flüssen zu untersuchen. In diesem Kontext wird eine Zunahme der Häufigkeit und der Intensität von Niedrigwasserperioden in den kommenden Jahrzehnten angenommen. Ziel dieser Studie war es, am Beispiel des Gersprenz-Einzugsgebietes die Eignung von ökohydrologischen Modellen und gängigen automatischen Kalibrierungsalgorithmen für die Verwendung in der Niedrigwasserhydrologie zu untersuchen.

Zur Konkretisierung der Zielsetzung wurden folgende Forschungsfragen formuliert:

1. Inwieweit eignen sich ökohydrologische Modelle wie **SWAT** für die Langzeitvorhersage von Niedrigwasserperioden in komplexen Einzugsgebieten?
2. Inwieweit eignen sich gängige Kalibrierungsalgorithmen wie **SUFI-2** für die Modellanpassung im Niedrigwasserbereich?

Modellaufbau und -anpassung

Die Methodik der Arbeit lässt sich in zwei Kernelemente gliedern. Der erste Teil umfasst die Entwicklung und Initialisierung des SWAT-Modells mithilfe der grafischen Programmschnittstelle ArcSWAT. Dazu wurde eine umfassende Analyse und Aufbereitung der verfügbaren Gelände-, Landbedeckungs-, Boden- und Klimadaten durchgeführt und in das Modell implementiert. Zur Erfassung der jahreszeitlichen Dynamik des Bewuchses auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen wurden zusätzlich Bewirtschaftungspläne und Managementpraktiken in das Modell integriert. Diese Prozesse haben einen entscheidenden Einfluss auf die wichtigsten Wasserhaushaltsgrößen: Oberflächenabfluss, Evapotranspiration und Versickerung.

Nach einer grundlegenden Plausibilitätsprüfung des initialisierten Gersprenz-Modells wurde im nächsten Schritt eine geeignete Kalibrierungs- und Validierungsstrategie unter Verwendung des halbautomatischen Algorithmus SUFI-2 entwickelt. Diese umfasst eine multikriterielle Identifizierung sensibler Parameter (**Abbildung 25**) in Verbindung mit einer Regionalisierung auf die definierten Naturräume des Untersuchungsgebietes, die Bestimmung des Untersuchungszeitraums unter Verwendung des *Differential Split-Sample* Ansatzes (Differenzierung klimatischer Phasen) und die Verwendung der modifizierten Nash-Sutcliffe Effizienz (MNS) als maßgebliche Zielfunktion. Als Vergleichsdaten stehen Abflusszeitreihen der Pegel Harreshausen und Groß-Bieberau 2 zur Verfügung. Ergänzend dazu wurde in Hinblick auf die schlechte Modellleistung der Basisabfluss als zusätzliche Vergleichsvariable in den Kalibrierungsprozess integriert. Der Basisabfluss wurde mithilfe eines digitalen Filters aus den Gesamtabflusszeitreihen der beiden Pegel generiert.



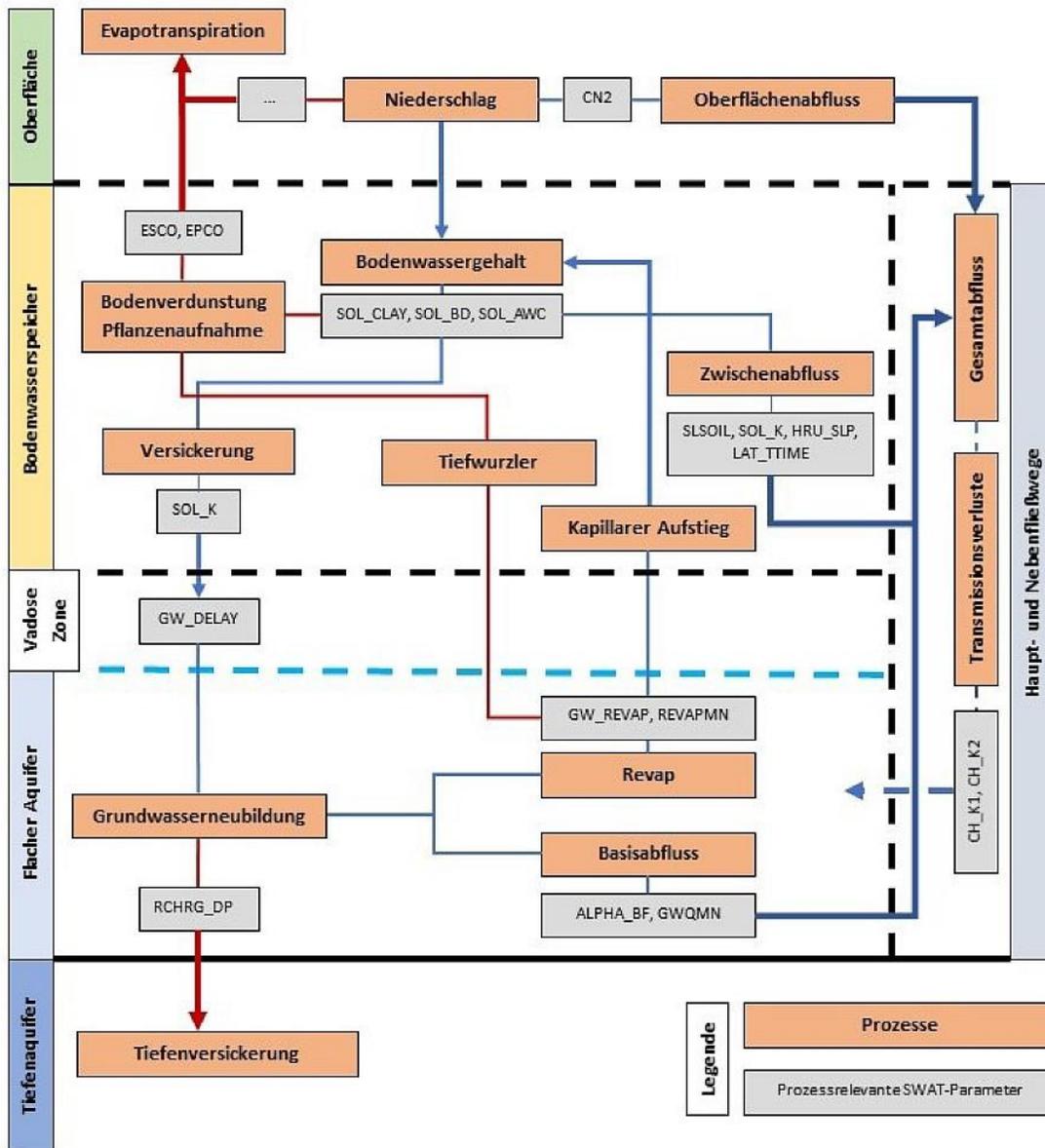


Abbildung 25: Prozessdiagramm der modellierungsrelevanten Modellkomponenten in SWAT

Analyse und Evaluation der Ergebnisse

Eine umfangreiche Analyse, unter Verwendung statistischer und grafischer Leistungsindikatoren sowie niedrigwasserspezifischer Abflusskennwerte, ermöglicht eine ganzheitliche Evaluation der Modellierungsergebnisse. Für das Gersprenz-Einzugsgebiet wurde unter Berücksichtigung aller Bewertungskriterien eine akzeptable Modelleistung im Niedrigwasserbereich erzielt. Allerdings werden auch die Restriktionen durch die gewählte Kalibrierungsmethode erkennbar. Durch die Einführung des Basisabflusses als Gewichtungsfaktor für die Kalibrierung werden die Abflüsse stark geglättet, was zu einer erheblichen Unterschätzung des Gesamtabflusses führt. Die differenzierte Betrachtung bestimmter klimatischer Perioden im Untersuchungszeitraum macht zudem die Abhängigkeit der Anpassungsgüte von der Variabilität der Niederschlagshöhen und der daraus resultierenden Abflüsse deutlich. Das führt im Weiteren zur Identifizierung unzureichender Vorhersagetrends in relativ trockenen Winterhalbjahren, welche sich stark auf die Kalibrierung und die resultierende Modelleistung auswirken. **Abbildung 26** verdeutlicht die beschriebenen Beobachtungen am Verlauf der beobachteten und simulierten Abflussganglinie für eine regenreiche und eine niederschlagsarme Periode im Kalibrierungszeitraum.

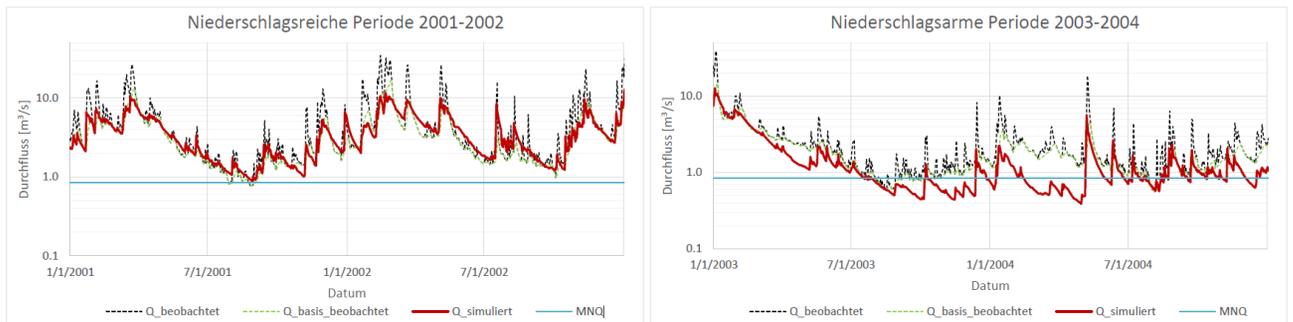


Abbildung 26: Beobachteter und simulierter Durchfluss am Pegel Harreshausen für eine niederschlagsreiche (links) und eine niederschlagsarme klimatische Periode (rechts).

Für die Evaluation der Modellierungsergebnisse mithilfe von gängigen Niedrigwasserindizes konnten charakteristische Parallelen zu den betrachteten statistischen und grafischen Leistungsindikatoren festgestellt werden. In diesem Zusammenhang haben sich insbesondere NQ und MNQ sowie die Unterschreitungshäufigkeit des MNQ als geeignete Kennwerte für eine Langzeitbetrachtung der Niedrigwasserperioden erwiesen.

Diskussion und Ausblick

Das verteilte ökohydrologische SWAT-Modell ermöglicht grundsätzlich eine ganzheitliche Betrachtung der natürlichen Komplexität und Variabilität von bewirtschafteten Einzugsgebieten. Hinsichtlich der Untersuchung von Niedrigwasserregimen ermöglicht SWAT die Simulation und detaillierte Betrachtung der im Boden- und Grundwasser ablaufenden (boden-)hydrologischen Prozesse. Allerdings bedarf diese Modellkomplexität einer Vielzahl von gebietspezifischen Eingangsdaten und Referenzgrößen, die nicht immer ausreichend verfügbar oder messbar und in der Regel mit großen Unsicherheiten behaftet sind. Das Gersprenz-Einzugsgebietsmodell weist im gesamten eine ungenügende Simulations- und Vorhersageleistung während und nach längeren/extremen Niedrigwasserperioden auf. Eine weitere Schwäche liegt in der schwankenden Modelleffizienz zwischen Trocken- und Nassphasen. Eine mögliche Erklärung für die unzureichende Vorhersagefähigkeit für Niedrigwasserperioden in Langzeitsimulationen ist die Vernachlässigung der saisonalen Variabilität bestimmter Gebietsgrößen im Einzugsgebiet.

Am Beispiel des SUFI-2 wurde die Eignung gängiger (halb-)automatischer Kalibrierungsalgorithmen für die Modellanpassung von SWAT im Kontext der Niedrigwasserhydrologie untersucht. Dahingehend wurden erhebliche Restriktionen bezüglich der Verfügbarkeit geeigneter Leistungsindikatoren und ihrer Verwendung als Zielfunktion identifiziert. Die gängigen Effizienzkriterien sind generell unempfindlich gegenüber niedrigen Abflüssen. Die Verwendung des MNS in Kombination mit dem geschätzten Basisabfluss als zusätzliche Vergleichsvariable führt zwar zu deutlich besseren Simulationsergebnissen, sollte aber in Hinblick auf die Umverteilung der Wasserhaushaltsgrößen kritisch betrachtet werden.

Für eine qualitative und ganzheitliche Erforschung der Einflüsse des Klimawandels auf das Abfluss- und Niedrigwasserregime ist es zu empfehlen, das bestehende Einzugsgebietsmodell weiter zu optimieren. Dazu sind grundlegende und ergänzende Untersuchungen unerlässlich, um die beschriebenen Defizite zu analysieren und unter Umständen zu eliminieren:

1. Die generelle Untersuchung der Einflüsse von Auflösung und Verteilung der Eingangsdaten im SWAT-Modell sowie der daraus resultierenden Diskretisierung des Einzugsgebietes. Dabei sind insbesondere die Boden-, Pflanzen- und Klimadaten zu betrachten.
2. Eine Umverteilung oder Erweiterung des Untersuchungszeitraumes für die Kalibrierung und Validierung. Dabei sollten die räumlichen Veränderungen der Landnutzung und Vegetationsbedeckung im Einzugsgebiet berücksichtigt werden.

3. Die Verwendung bzw. Entwicklung eines geeigneten Kalibrierungsalgorithmus für die Niedrigwassermodellierung im SWAT-Modell. Zu diesem Zweck kann der saisonale und/oder mehrkriterielle Kalibrierungsansatz unter Verwendung gängiger und modifizierter Leistungsindikatoren auf die Anwendbarkeit für das Gersprenz-Einzugsgebiet untersucht werden.
4. Die Verwendung ergänzender Vergleichsdaten, um die naturräumliche Strukturierung des Einzugsgebietes besser zu erfassen. Dieser Vorgang impliziert den Aufbau neuer Messstellen und ist daher mit erheblichem Mehraufwand und Kosten verbunden.

Optimierung eines Niederschlag-Abfluss-Modells durch Erweiterung des auf Elementarflächen basierenden physikalischen Bodenfeuchteansatzes



Masterthesis von Kerstin Reifschläger am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung

Studiengang: Umweltingenieurwissenschaften

Veranlassung und Ziele

Mithilfe von hydrologischen Modellen kann das Abflussgeschehen innerhalb eines Gebiets simuliert werden. Für das Fischbach-Einzugsgebiet wurden am Fachgebiet ihwb der TU Darmstadt bereits unterschiedliche solcher Modelle aufgesetzt. Hierzu gehört unter anderem ein von Bach (2018) mit BlueM aufgesetztes Teileinzugsgebiet-basiertes Niederschlag-Abfluss-Modell, welches jedoch auch nach einer Kalibrierung nur unbefriedigende Ergebnisse lieferte. Die Defizite sollten durch die Nutzung des sogenannten Elementarflächenansatzes in Kombination mit einer Bodenfeuchtesimulation von Amarjargal (2019) behoben werden. Das so erweiterte Modell wurde noch nicht optimiert, sodass noch große Abweichungen zwischen Simulation und realem Abflussgeschehen bestehen. Die Optimierung war daher Aufgabe dieser Arbeit.

Vorgehen und Ergebnisse

Um das Modell optimieren zu können, mussten die Ursachen für die Abweichungen vom realen Abflussgeschehen ermittelt und Möglichkeiten zur Verbesserung erarbeitet werden. Nach der Einarbeitung in die Grundlagen des Bodenwasserhaushalts wurde die Strategie zur Optimierung des Modells entwickelt. Sie setzt sich – neben der eigentlichen Kalibrierung – aus 3 Schritten zusammen: 1. Wahl eines Optimierungsverfahrens, 2. Analyse der Modellergebnisse, 3. Parameterauswahl und Festlegung von Grenzen zur Optimierung. Nach diesen Schritten erfolgte die Durchführung eines Kalibrierungsdurchlaufs. Nachfolgend werden die unterschiedlichen Schritte näher erläutert.

Wahl des Optimierungsverfahrens

Die Optimierung wurde mithilfe der Anwendung BlueM.Opt durchgeführt. Hierbei hat eine Autokalibrierung stattgefunden, für welche ein Optimierungsalgorithmus festgelegt werden musste. Es wurde der evolutionäre Algorithmus PES gewählt, welcher bereits in einer vorangegangenen Arbeit von Bach (2018) Anwendung fand. Weiterhin wurden mehrere Zielfunktionen festgelegt, welche zur Bewertung der Lösungen herangezogen werden sollten.

Analyse der Modellergebnisse

Um eine Analyse der Modellergebnisse durchführen zu können, musste zuvor eine Simulation durch das Programm BlueM.Sim erfolgen. Danach konnten die Simulationsergebnisse mit BlueM.Wave grafisch dargestellt und analysiert werden. Hierbei bestand die Möglichkeit, auch die berechneten Wasserhaushaltskomponenten zu betrachten, sodass diese mit Literaturwerten des Gebiets verglichen werden konnten. Es zeigte sich, dass insbesondere für die potentielle sowie reale Verdunstung zu geringe

Werte berechnet wurden. Außerdem wurde ein Trockenwetterabfluss modelliert, welcher in Einzugsgebieten ohne Kläranlage nicht stattfindet. Weiterhin konnten starke Schwankungen des Basisabflusses beobachtet werden, welcher zeitweise – ohne Berücksichtigung der weiteren Abflusskomponenten – über dem Gesamtabfluss lag. Die modellierte Ganglinie des unkalibrierten Modells wird in **Abbildung 27** der gemessenen Pegelganglinie gegenübergestellt.

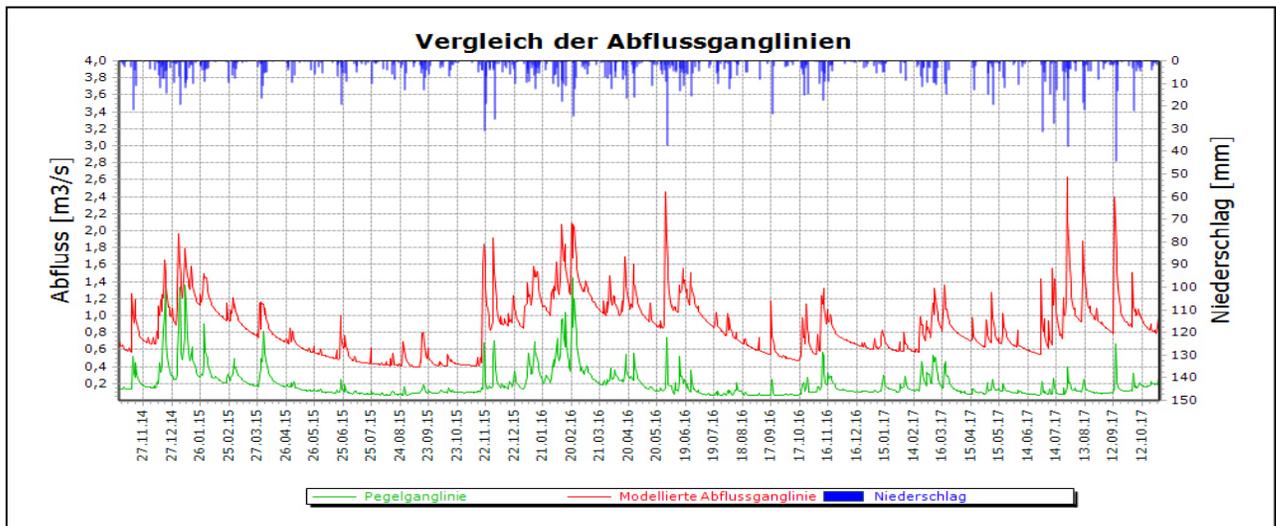


Abbildung 27: Vergleich der Abflussganglinien vor der Optimierung

Parameterauswahl und Festlegung von Grenzen

In diesem Schritt wurden anhand einer Sensitivitätsanalyse die Modellparameter bestimmt, welche einen ausreichend großen Einfluss auf die Berechnung der noch unzureichend genau abgebildeten Prozesse hatten und daher für die Kalibrierung genutzt werden sollten. Um die Autokalibrierung durchführen zu können, mussten sinnvolle Grenzen für die Variation aller Kalibrierungsparameter angegeben werden. Hierzu wurden zum einen Literaturwerte herangezogen, zum anderen konnten für die Evapotranspiration auch gebietspezifische Werte berechnet werden.

Die Kalibrierung wurde mithilfe von BlueM.Opt durchgeführt. Waren die Simulationsergebnisse nach einem Durchlauf noch nicht zufriedenstellend, so wurden die Modellergebnisse erneut analysiert und die Parameter mit ihren Grenzen entsprechend angepasst. Ebenso konnte eine Variation der gewählten Zielfunktionen erfolgen. Die unter den gegebenen Randbedingungen möglichst optimale Lösung wurde anhand einer visuellen Überprüfung bei gleichzeitiger Betrachtung der zur Optimierung gewählten Zielfunktionen bestimmt. Nach Auswahl der optimalen Lösung erfolgte eine Validierung, um die Qualität des Modells bewerten zu können.

Dabei wurde das Modell zur Simulation der Abflussganglinie in einem Zeitraum eingesetzt, welcher nicht im Rahmen der Kalibrierung genutzt wurde. Ein Vergleich zwischen gemessener und modellierter Ganglinie im Validierungszeitraum ist in **Abbildung 28** dargestellt. Es zeigte sich, dass das Abflussgeschehen gut nachgebildet werden konnte. Abschließend fand eine Beurteilung einiger durch die Optimierung bestimmten Bodenkennwerte statt, indem sie mit den Ergebnissen von Feld- und Laborversuchen im Einzugsgebiet verglichen wurden. Hier konnten teilweise starke Abweichungen beobachtet werden.

Fazit

Durch die Optimierung des Modells konnten im Kalibrierungs- sowie Validierungszeitraum gute Ergebnisse erzielt werden. Bei den Abflussspitzen fand jedoch meistens eine Unterschätzung statt, welche z. B. durch die geringe Auflösung der Eingangsdaten verursacht werden konnte. Weiterhin stellen auch die in BlueM genutzten Berechnungsansätze nur eine Vereinfachung der Natur dar. Im Rahmen

des Kalibrierungsvorgangs zeigte sich außerdem, dass manchen Parametern nicht unbedingt realitätsgetreue Werte zugewiesen wurden, da dies durch die interne Modelllogik in Kombination mit den Eingangsdaten nicht ermöglicht wird. Daher ist im Hinblick auf diese Parameter der Vergleich mit den Ergebnissen aus Feld- und Laborversuchen kritisch zu hinterfragen. Zusätzlich hat z. B. auch der Versuchsaufbau einen großen Einfluss auf die Ergebnisse. Doch auch die genutzten Niederschlagsstationen sowie ihre räumliche Verteilung sind von Bedeutung. Stehen nur wenige Messstationen zur Verfügung, so ist die Wahrscheinlichkeit größer, dass nur lokal im Einzugsgebiet auftretende Niederschlagsereignisse nicht erfasst werden. Auch dies kann teilweise die nicht getroffenen Abflussspitzen erklären. Doch obwohl an mehreren Punkten – sowohl bei den Datengrundlagen, als auch in der Modelllogik – Vereinfachungen der Realität stattgefunden haben, so konnte die Pegelganglinie insgesamt gut simuliert werden. Mit einer geringeren Zeitschrittweite und dazu passenden Eingangsdaten könnte in einem nächsten Schritt versucht werden, ob die Abflussspitzen noch besser modelliert werden können.

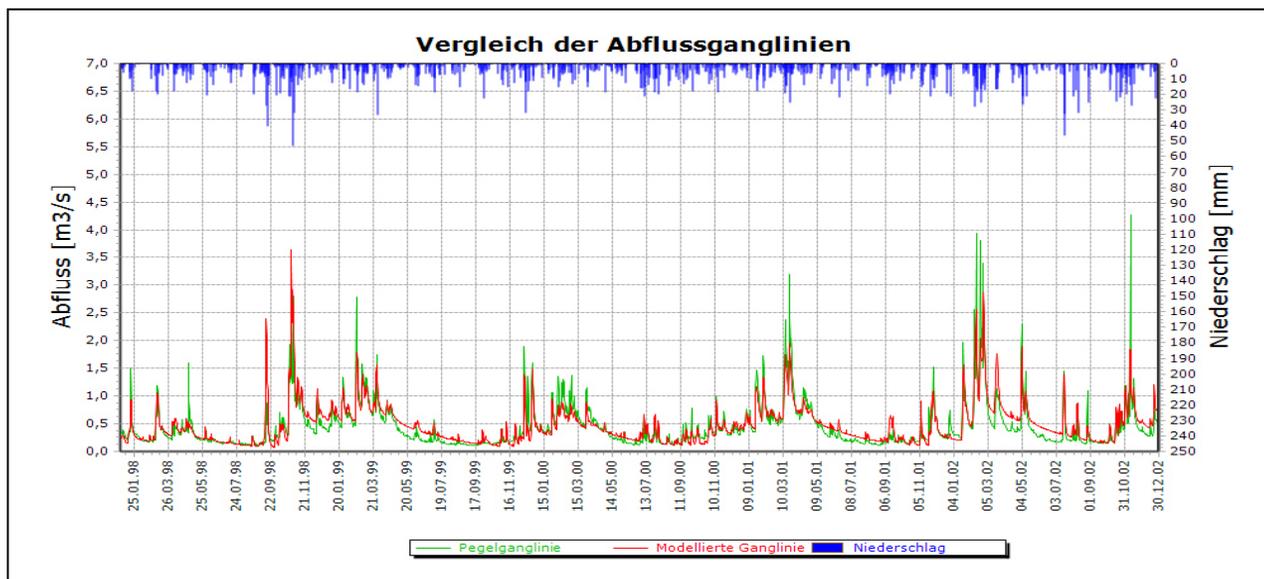


Abbildung 28: Vergleich der Abflussganglinien im Validierungszeitraum

Literatur

Amarjargal, S. (2019): Entwicklung einer Methode zur Ableitung hydrologischer Elementarflächen für das Fischbach-Einzugsgebiet. Bachelorthesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung der TU Darmstadt.

Bach, A. (2018): Analyse von Niederschlagsdaten aus der Satellitenfernerkundung in der hydrologischen Modellierung am Beispiel des Fischbach-Einzugsgebiets. Masterthesis am Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung der TU Darmstadt.

Aus den Fachgebieten:

Wasserbau und Hydraulik (Leitung: Prof. Lehmann)



Lehre

Abschlussarbeiten

Im Jahr 2020 haben trotz der erschwerten Bedingungen infolge der Corona-Beschränkungen mehr als 32 Studierende ihre Abschlussarbeit am Fachgebiet für Wasserbau und Hydraulik geschrieben. Damit war die Nachfrage nach Abschlussarbeiten genauso hoch wie den Vorjahren und Dank des Einsatzes aller Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter konnten Hygienekonzepte für Labor- und Feldarbeiten erstellt werden, welche die Durchführung vieler Abschlussarbeiten unter guten Bedingungen ermöglichten. Folgende Themenstellungen wurden dabei erfolgreich bearbeitet:

Bachelorarbeiten

- Mobile Versuche zur Hydromechanik
- Naturverträgliche Wasserkraftnutzung – Quo vadis?
- Leistungen zur Gewässerentwicklungsplanung am Ochsenbrunnenbach bei Mainz-Kastel
- Dokumentation von Maßnahmen zur Gewässerentwicklung
- Studie zur Anwendung von Druckmessungen im wasserbaulichen Versuchswesen
- Entwicklung eines Leitfadens zur Abschätzung der Wirtschaftlichkeit des Einsatzes einer Kleinstwasserkraftanlage in einem Entwicklungsland
- Dokumentation und hydraulische Bewertung von Flachrechen-Bypass-Fischschutzanlagen bei Wasserkraftwerken
- Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung und Ertüchtigung wasserbaulicher Anlagen: landesspezifische Regelungen und Empfehlungen
- Analyse der Wirkung von Stauraumpülungen auf Stauraumverlandung und Unterwasser
- Anergienetze zur Oberflächengewässernutzung
- Spektralanalyse von Druckmessdaten einer fischförmigen Messsonde mit Python

Masterarbeiten

- Risikobeurteilung von Tailings-Dämmen und Aschedeponien
- Optimierung des Messablaufes sowie des Befestigungssystems für Strömungsmessgeräte
- Inbetriebnahme und Untersuchungen zur Bemessung der Einlaufströmung eines wärmeströmungstechnischen Prüfstandes
- Anwendung hydroakustischer Messverfahren und Berechnung der Messunsicherheit von Messdaten an Wasserkraftanlagen
- Entwicklung und Empfehlung von Auswertungswerkzeugen zu anwendungsspezifischen Geschwindigkeits- und Durchflussbestimmungen

- Wellenenergienutzung und Küstenschutz: Empfehlungen für integrative Maßnahmen
- Untersuchungen zur Abflussleistung des Sulzbächle-Dükers in Weinheim
- Simulation des Dammbrechens einer Stauanlage mit HecRAS
- Auswirkungen von Wasserqualität und Feststoffen auf Wärmequellen in Fließgewässern und Entwicklung von Empfehlungen für Schutzmaßnahmen
- Indikatoren der Ökosystemleistungen renaturierter innerörtlicher Gewässerläufe
- Experimentelle Untersuchungen zum Einfluss von Zahnschwellen und Deflektoren auf die Kolkbildung unterhalb von Hochwasserentlastungsanlagen mit Sprungschanze
- Multimediale Dokumentation einer Gewässerentwicklungsplanung
- Vertiefte Untersuchung und Fortführung von Laborversuchen zur Widerstandsfähigkeit eines Flussdeiches aus qualifiziert verbessertem Bodenmaterial
- Statistische Aufbereitung und Georeferenzierung von Datenbeständen zu Fließgewässertemperaturen
- Methoden zum Fischtracking und Möglichkeiten zur ethohydraulischen Datenanalyse
- Untersuchungen zu wirkenden Kräften auf bewegliche Wehre und zu repräsentativen Überfallbeiwerten
- Konzeptentwicklung für eine hydromorphologische Aufwertung der Wisper in Lorch
- Analyse von Strömungsparametern an einem Fischschutzrechen und deren Beeinflussung durch einen Fischkörper
- Einsatzgrenzen hydrothermaler Nutzung von Fließgewässern bei niedrigen Umgebungstemperaturen
- Entwicklung eines Wasserkraftprojekts in Südafrika
- Untersuchungen zur Gewährleistung einer Leitströmung am Auslass des Wasserkraftwerkes Elisenhütte an der Lahn

Wie in den Jahren zuvor auch, werden Abschlussarbeiten als wertvolle Verbindungen in das bestehende Netzwerk zu unseren Praxispartnern genutzt. An der Betreuung einiger Arbeiten waren im Jahr 2020 folgende Institutionen mit beteiligt:

- Planungsbüros
 - Björnßen Beratende Ingenieure Darmstadt
 - Fichtner Ingenieure Stuttgart
 - Münchner Rück Versicherung
- Fachbehörden
 - Regierungspräsidium Darmstadt
 - Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
 - Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz
 - Wasserstraßenneubauamt Heidelberg
- Städte, Gemeinden und Kommunen
 - Stadt Weinheim
- Benachbarte Institute und Fachgebiete
 - Fachbereich Geowissenschaft, Fachgebiet Ingenieurökologie (Prof. Hack)

Exkursionen

Im Jahr 2020 konnten infolge der Corona-Verordnungen der TU Darmstadt leider keine Exkursionen angeboten werden.

Promotionen

Am 07.10.2020 schloss Frau **Dipl.-Ing. Christiane Bergmann** erfolgreich ihre Promotion zum Thema *Experimentelle Untersuchungen zum Fließverhalten von wassergesättigten grobkörnigen Böden* ab. Als Referenten dazu waren Prof. Zachert und Prof. Katzenbach vom Institut für Geotechnik als auch Prof. Lehmann aktiv.



Das Bewegungs- bzw. sog. Fließverhalten Böden spielt bei der geotechnischen Bemessung der Standsicherheit und Stabilität von Bauwerken, Anlagen und Maßnahmen sowie bei der zugehörigen Nachweisführung eine wichtige Rolle. Grobkörnige kohäsionslose Bodenarten entwickeln insbesondere bei Durchsättigung der Porenräume mit Wasser deutliche Tendenzen zum Fließen, ähnlich wie man dies bei viskosen Fluiden kennt. Das Zusammenspiel von Bodenkorn, Wasser und ggf. eingeschlossener Luft führt zu einem Mehrphasensystem, über dessen Stabilitäts- und Mobilitätsverhalten bis dato nur verhältnismäßig wenig untersucht wurde. Viele existierende Ansätze dazu fußen auf Modellvorstellungen und Theorien, bei denen das reale heterogen strukturierte poröse Medium als ein mechanisch-strukturelles homogenes Kontinuum angenommen wird.

Die Forschungsarbeit von Frau Bergmann fokussiert auf großskalige experimentelle Untersuchungen, die zum Ziel haben, das Fließverhalten wassergesättigter grobkörniger Bodengemische im Vergleich zum Fließverhalten von Reinwasser zu betrachten. Dazu werden der seitliche Ausfluss aus einem Behälter mit freier Oberfläche bzw. mit Auflast als Modellsysteme angenommen und die in der Hydromechanik dafür geltenden Formelansätze nach Torricelli zu Grunde gelegt und erweitert.



Am 27.11.2020 konnte **Sirko Lehmann, M.Sc.** seine Dissertation zum Thema *Einsatzmöglichkeiten der qualifizierten Bodenverbesserung im Flussdeichbau* erfolgreich mit einer Verteidigung abschließen. Hauptreferent bei dem Verfahren war Prof. Lehmann; als Zweitreferent wirkte Prof. Zachert vom Institut für Geotechnik mit. Die Dissertationsschrift wird 2021 als Heft 158 in der Mitteilungsreihe des Instituts digital publiziert.

Hochwasser zählt zu einer der elementarsten Naturgefahren für unsere Kulturlandschaften und Siedlungen. Demnach haben sich historisch zahlreiche Maßnahmen, Konzepte und Strategien entwickelt, welche die Menschen vor Schäden infolge Überflutungen im Hochwasserfall schützen sollen. Die wohl häufigste Schutzmaßnahme stellt dabei der Bau von Deichen entlang der Gewässerläufe dar. Die Deiche sollen das Hochwasser innerhalb des Abflusskorridors abführen und das Hinterland vor Überflutungen schützen. Relevant sind bei der Bemessung und dem Bau von Deichanlagen das sog. Bemessungshochwasser und die Standsicherheit des Deichkörpers bei diversen wirkenden Belastungen.

Herr Lehmann beschäftigt sich in seiner Dissertationsschrift mit der Möglichkeit, die Standsicherheit und Stabilität von Flussdeichen bei Ein- und Überstau mittels Maßnahmen der Bodenverbesserung zu optimieren. Durch Einbau/Injektion von Bindemittel soll der Deichkörper bei gleichzeitiger Wahrung seiner Durchlässigkeit derart verfestigt werden, dass eine Überströmung ohne Deichkörperversagen möglich wird oder im Zuge von Sanierungen auch Aufkadungen ohne die übliche Verbreiterung des Deichfußes umgesetzt werden können. Besonders bei planmäßig vorgesehenen „Entlastungsstrecken“

für Extremhochwasser als auch für Deicherhöhungen innerhalb dicht bebauter Bereiche stellt seine vorgeschlagene Methode damit einen wertvollen Beitrag für die wasserbauliche Praxis dar.

Sirko Lehmann hat am Fachgebiet sowohl als hervorragender Wissenschaftler, als motivierter Lehrender als auch als engagierter Mittelbauvertreter im Fachbereichsrat und diversen Gremien des Fachbereiches jahrelang mitgewirkt. Er hat im Herbst 2020 das Fachgebiet verlassen und arbeitet nun in einem Ingenieurbüro im Schwerpunktbereich Wasserbau-Geotechnik. Vielen Dank, Sirko, für all die wertvollen und erfolgreichen Jahre gemeinsam mit Dir hier bei uns am Fachgebiet.

Frau **Dip.-Ing. Anke Werner** konnte am 14.12.2020 Ihre Dissertation zum Thema *Beitrag zur Wirkung von Gehölzwurzeln in oberflächennahen Böschungszonen als natürliche Bewehrung* erfolgreich verteidigen und abschließen. Als Referenten wirkten hier Prof. Katzenbach vom Institut für Geotechnik als auch Prof. Lehmann mit.



Methoden des sog. Lebendverbau kommen seit Jahrhunderten erfolgreich bei der Stabilisierung und dem Erosionsschutz von Böschungen, Hängen und dem Uferschutz an Gewässern zum Einsatz. Im Zentrum stehen dabei ingenieurbio-logische Maßnahmen, die als Stabil-, Deck- oder kombinierte Bauweisen Vegetationselemente (Gräser, Sträucher oder Bäume) und deren Durchwurzelungsgefüge im Untergrund nutzen, um das dortige Bodengefüge quasi zu bewehren und damit gegen Zug- und Scherkräfte zu stabilisieren (sog. lebende Baustoffe). Obwohl die Verwendung ingenieurbio-logischer Bauweisen in der Ingenieurpraxis bereits historisch etabliert ist, gibt es bis heute keine validierten Nachweiskonzepte für die unterschiedlichen Bauweisen – allenfalls Erfahrungswerte und (semi-)empirische Formelwerke erlauben eine vereinfachte Bemessung einzelner Bauweisen bei bestimmten Randbedingungen.

Die Arbeit von Frau Werner liefert einen Beitrag zur Quantifizierung der Bewehrungswirkung von Gehölzwurzeln und verbessert einige bestehende Nachweis-konzepte für die Planungs- und Bemessungspraxis. Im Rahmen ihrer Forschungs-arbeit nutzt Frau Werner unterschiedlichste Labor- und Feldversuchsansätze, um wurzelmechanische und hydromechanische Einflüsse der Gehölzvegetation zu untersuchen und aus den gewonnenen Ergebnisse und Erkenntnissen schlussendlich modifizierte Nachweisverfahren ableiten zu können.

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

- Katharina Bensing, M.Sc. – Ethohydraulische Modellierungen
- Steve Borchardt, M.Sc. – Wärmeübertragereinsatz in Fließgewässern
- Gerhard Braun, Dipl.-Ing. – Feinrechenauslegung für Kläranlagen
- Jonas Jurisch, M.Sc. – Bodenverflüssigung
- Joanna Küppers, M.Sc. – Verfahrenstechnik zum Sedimentmanagement in Stauhaltungen
- Tobias Lohrey, M.Sc. – HN-Modellierung zum Sedimentmanagement in Stauhaltungen
- Robin Ruff, M.Sc. – Testverfahren und Einsatzbereiche hydrokinetischer Turbinen
- Peter Wiker, Dipl.-Ing. – Multifeldrechensysteme zum Fischschutz bei großen Wasserkraftanlagen

Forschung

Seewasserwärme für ein Neubauquartier in Darmstadt

Steve Borchartd, M.Sc.

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

Veranlassung

Für das Neubauquartier *Kastanienallee* in Darmstadt ist eine möglichst nachhaltige Energieversorgung geplant. Dies beinhaltet auch eine innovative Wärmeversorgung über einen zentral gelegenen See. Dazu sollen auf dem Seegrund Wärmeübertrager installiert werden, welche die Seewasserwärme an ein kaltes Nahwärmenetz abgeben. Das kalte Nahwärmenetz transportiert die Umweltwärme an Wärmepumpen, welche den Wärmebedarf der Wohngebäude im Quartier dezentral decken.

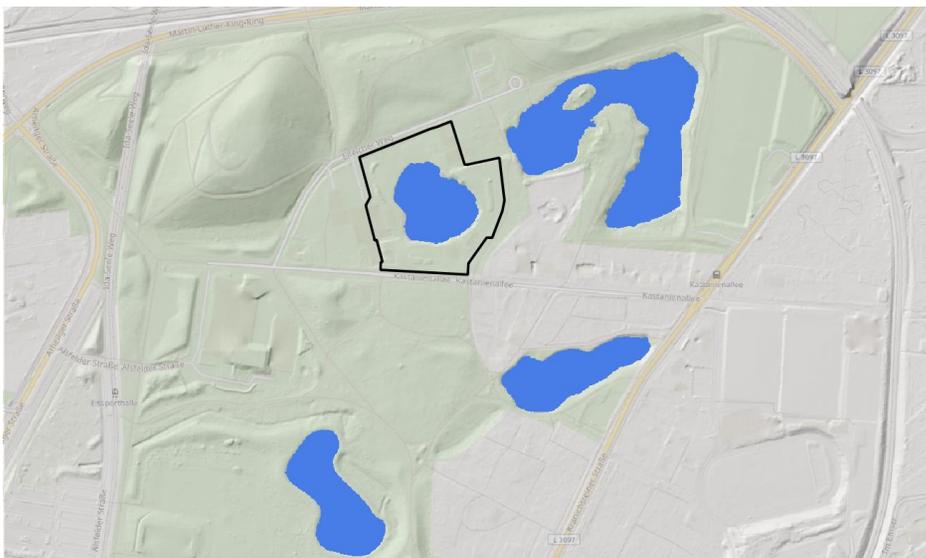


Abbildung 29: Untersuchungsgebiet (schwarze Volllinie) auf dem Gelände des Bürgerparks im Norden Darmstadts. DGM mit 1 m-Rasterweite hinterlegt mit OSM-Karte (Quelle: HVBG 2020; OSM)

Das Untersuchungsgebiet (**Abbildung 29**) liegt auf dem Gelände des Bürgerparks im Norden Darmstadt. Vier ehemalige Tongruben bilden heute eine Seenkette innerhalb einer künstlich modellierten Landschaft. Der See besitzt bei einer Fläche von 0,57 ha eine mittlere Tiefe von 4,6 m und eine maximale Tiefe von 9,5 m.

Projektbeschreibung der wissenschaftlichen Begleitung des Bauvorhabens

Das Fachgebiet Wasser und Hydraulik untersucht den im Wohnquartier zentral gelegenen See (**Abbildung 30**) auf die technische Eignung als Umweltwärmequelle. Dies bedingt eine Abschätzung der nutzbaren Seewärme und ob diese ausreicht, um den überwiegenden Wärmebedarf des Wohnquartiers hieraus zu decken. Um eine nachhaltige Wärmebereitstellung und das bestehende Schichtungs- und Mischungsverhalten des Sees zu gewährleisten, muss eine ausreichende Regeneration des Sees gegeben sein. Hierfür müssen die Veränderungen gegenüber dem ungestörten Zustand durch die technische Nutzung des Sees innerhalb postulierter Grenzen ($\Delta T \leq 1 \text{ °C}$ oder innerhalb der natürlichen Schwankungen) liegen.

Zur Bestimmung des Schichtungs- und Mischungsverhaltens sowie der verfügbaren Wärmekapazitäten sind die bereits bestehenden Temperaturmessketten auszuwerten und auf Plausibilität zu prüfen.

Um den Einfluss verschiedener Wärmezuflüsse zu quantifizieren, werden die Wassertemperaturen mit den Lufttemperaturen und Grundwassertemperaturen korreliert. Daraus ergibt sich eine Abschätzung über das Regenerationsvermögen der verfügbaren Wärmekapazität.

Über die Klassifizierung des Sees und die Bestimmung morphometrischer Parameter können die Wechselwirkungen mit dem Einzugsgebiet aufgezeigt und eine seetypenübliche Charakterisierung vorgenommen werden. Zudem gehen die morphometrischen Parameter in die Wärmebilanzierung ein.

Über die abschließende Bilanzierung der Energieflüsse des Sees werden die zur Verfügung stehenden Wärmekapazitäten des Sees und der Einfluss der Wärmeentnahme abgeschätzt.

Das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik unterstützt das Genehmigungsverfahren zur Oberflächengewässernutzung. Für das spätere Nachweisverfahren konzipiert und begleitet die TUDa optional ein Monitoring zum Schichtungs- und Mischungsverhalten, zu den Seewassertemperaturen und zu der Entzugsleistung der Wärmequellenanlagen.



Abbildung 30: Blick auf den zentral gelegenen See mit der Messdatenaufnahme (blaue Tonne: Temperatur in 0,3 / 1,5 / 5,0 / 8,5 m Tiefe; weiße Plattform: Temperatur und Sauerstoffgehalt* in 0,5* / 2,5* / 4,5* / 6,5 / 8,5 m Tiefe)

Experimentelle Untersuchungen im wärmeströmungstechnischen Prüfstand

Steve Borchardt, M.Sc.

Projektförderer: Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



Projektpartner: Firma FRANK GmbH, Mörfelden-Walldorf



Veranlassung

Neben der Minderung des Wärmebedarfs ist die Substitution fossiler Energieträger durch erneuerbare Energien ein wesentlicher Baustein der Wärmewende. Dies beinhaltet auch eine technische Nutzung von Umweltwärmequellen durch Wärmepumpen. Durch das aktuell verfolgte Forschungsgebiet zur

wärmetechnischen Oberflächengewässernutzung, damit verbundene Forschungsprojekte und den Betrieb eines wärme-strömungstechnischen Prüfstands am wasserbaulichen Forschungslabors werden am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik derzeit Leitlinien für die Planung, Genehmigung und den Betrieb von Wärmequellenanlagen in Oberflächengewässern entwickelt.

Aktuelle Untersuchungen

Gemeinsam mit dem Kunststoffrohrsystemhersteller FRANK aus Mörfelden-Walldorf konnte das Forschungs- und Entwicklungsprojekt *Entwicklung eines modularen Wärmetauschers mit kombinierter Wasserkraftgewinnung für Fließgewässer (WärmeEnergieTauscher)* im Frühsommer 2020 erfolgreich beendet werden. Das Kooperationsprojekt wurde durch das Bundeswirtschaftsministerium über das Förderprogramm Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) finanziell unterstützt (vgl. WasserJahr 2017).

Der entwickelte Flusswärmeübertrager wird aus dem Werkstoff Polyethylen im Vakuum-Tiefziehverfahren gefertigt und besitzt pro Modul (Höhe: 600 mm, Länge: 1200 mm) eine thermische Entzugsleistung von $\approx 11\text{kW}$. Aktuell wird die finale Ummantelung der modularen Wärmeübertragerplatten konstruiert und die anschließende Vermarktung durch den Projektpartner vorbereitet.

Um den Einfluss thermohydrodynamischer Parameter auf die Wärmeentzugsleistung zu bestimmen und unterschiedliche Geometrien von Wärmequellenanlagen zu prüfen, betreibt das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik einen Prüfstand im Außenbereich der Technischen Universität Darmstadt unter Feldbedingungen (vgl. WasserJahr 2018).

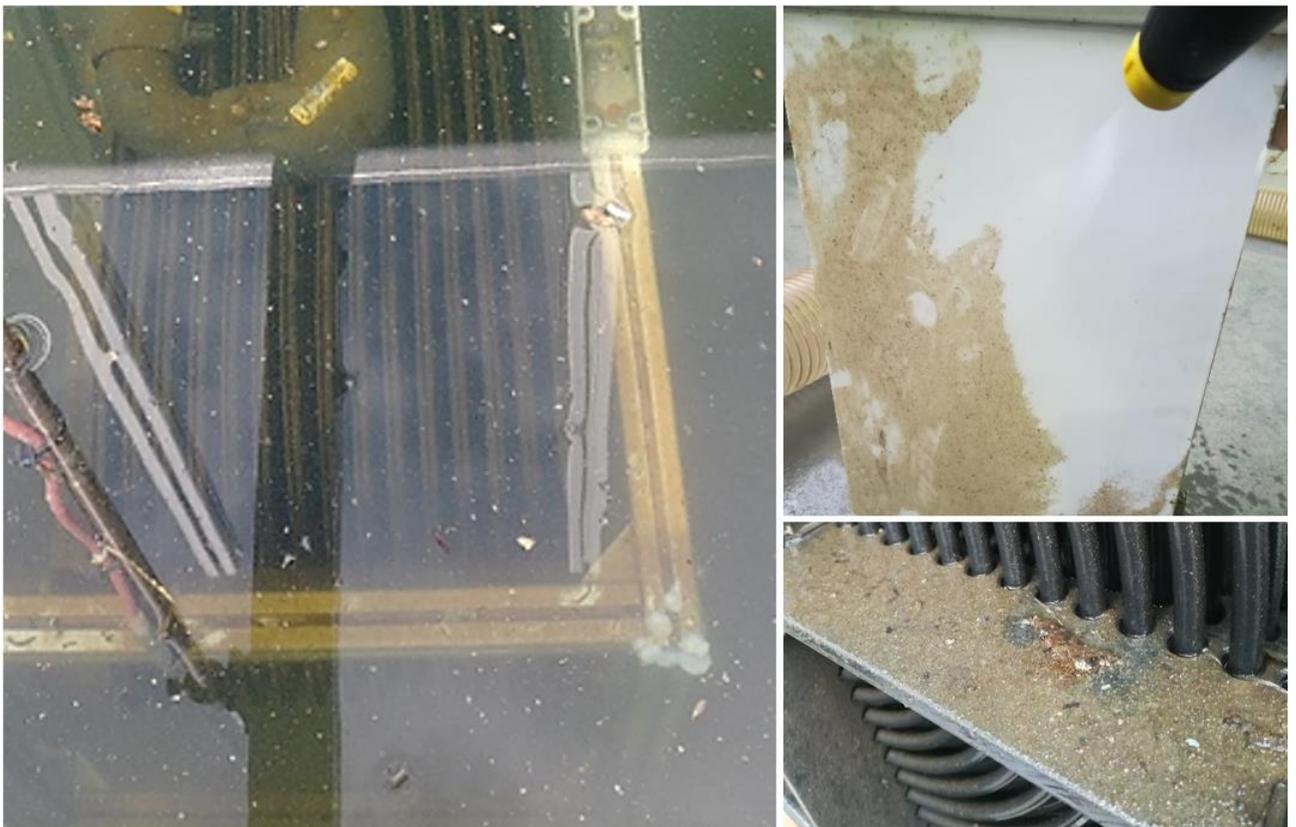


Abbildung 31: Prüfmuster nach viermonatigen Biofoulingprozess im Prüfstand (links); Reinigung einer Wärmeübertragerplatte mit Niederdruckreiniger nach 51 Tagen (rechts, oben); Nahaufnahme eines horizontalen Führungsstegs nach 62 Tagen (rechts, unten)

Durch eine viermonatige Unterbrechung des Versuchsbetriebs entwickelte sich an einem bereits eingebauten Prüfmuster ein Biofilm (Abbildung 31, links). Dadurch ergab sich die Gelegenheit den Einfluss des Biofilms im Gleichgewichtszustand zu quantifizieren und durch eine sukzessive Zunahme der

flussseitigen Fließgeschwindigkeiten einen strömungsinduzierten Selbstreinigungseffekt zu untersuchen. Im Frühsommer konnten dazu an zwei weiteren Prüfmustern erste Voruntersuchungen stattfinden. Die Prüfmuster wurden jeweils 51 Tage und 62 Tage mit Wasser aus dem Darmbach beaufschlagt und anschließend im Prüfstand eingebaut (**Abbildung 31**, rechts). Die gemessenen Entzugsleistungen können nun den erfassten Messdaten aus der Erstinbetriebnahme gegenübergestellt werden. Für das kommende Sommerhalbjahr sind weitere, kontinuierliche Messungen für unterschiedliche Entwicklungsstadien eines Biofilms angedacht. Das bereits abgeschlossene Monitoring an einer Feldanlage deutet hierbei auf eine signifikante Praxisrelevanz dieser vorgesehenen Untersuchung hin.

Für einen wirtschaftlichen Betrieb von Wärmequellenanlagen beschränkt die Flusswassertemperatur bei kalten Umgebungstemperaturen die untere Betriebsgrenze. Im Prüfstand soll unter kontrollierbaren, realitätsnahen Bedingungen ein lokaler Wärmeentzug aus Fließgewässern bei Wassertemperaturen ≤ 4 °C untersucht werden und daraus Empfehlungen für die Genehmigung und den Betrieb von Wärmequellenanlagen abgeleitet werden. Durch den milden Winter 2019/20 konnten witterungsbedingt dazu kaum Untersuchungen durchgeführt werden. Daher sollen diese Untersuchungen während der Heizperiode 2020/21 fortgesetzt werden, um eine ausreichende Datengrundlage für die laufenden Forschungsarbeiten zu erhalten.

Ausblick

Der wärmeströmungstechnische Prüfstand ist ein Alleinstellungsmerkmal des Fachgebiets Wasserbau und Hydraulik in der Fachöffentlichkeit. Es ist keine vergleichbare Versuchsanlage an deutschsprachigen Hochschulen bekannt. Daher ist das Fachgebiet aktuell dafür prädestiniert, Praxisprojekte auch längerfristig wissenschaftlich zu begleiten und anknüpfende Forschungsprojekte auf diesem Gebiet zu bearbeiten.

Literatur

Borchardt, Steve (2018): Wärmeenergetische Nutzung von Fließgewässern. In: Lehmann, B. und Schmalz, B.: WasserJahr 2017. Förderverein des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt e.V.

Borchardt, Steve (2019): Wärmeströmungstechnischer Prüfstand. In: Lehmann, B. und Schmalz, B.: WasserJahr 2018. Förderverein des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TU Darmstadt e.V.

Entwicklung von umweltfreundlichen Methoden zur Erzielung einer Sedimentdurchgängigkeit

Tobias Lohrey, M.Sc.

Projektförderer: Deutsche Bundesumweltstiftung



Projektpartner: D-Sediment GmbH, Werne



Veranlassung

Im Zuge des seit 2019 laufenden Forschungsprojektes (siehe WasserJahr 2019) sollen die Maßnahmen der Stauraumpülung sowie des kontinuierlichen Sedimenttransfers vergleichend am Stausee Bitburg eingesetzt sowie hinsichtlich ihrer ökologischen Verträglichkeit und der Entlandungseffizienz verglichen und optimiert werden.

Aufgrund rechtlicher Restriktionen kann keine herkömmliche Stauraumpflügelung durchgeführt werden. Stattdessen wird der jährlich stattfindende Abstau als Ersatz eines Spülungsereignisses herangezogen und per Monitoring erfasst. Auf Basis der erhobenen Daten können dann mit Hilfe von numerischen Simulationen qualifizierte Aussagen über ökologische Auswirkungen und Entlandungseffizienz von Spülungen am Standort getroffen werden.

Um die Entlandungseffizienz der Maßnahmen überhaupt bewerten zu können, wird der Stausee vor Durchführung jeder Maßnahme mittels Echolotpeilung vermessen. Zudem liegen Messdaten einer Peilung aus dem Jahr 2015 vor. Die Entwicklung der Verlandung im Stausee seit 2015 bis zur ersten im Projekt durchgeführten Echolotpeilung im Jahr 2019 ist in **Abbildung 32** dargestellt.

Die Abbildung verdeutlicht eine Verringerung der Wassertiefen bei zunehmender Verlandung über den gesamten Stausee hinweg. Besonders betroffen sind die in der Abbildung markierten Bereiche (a) bis (c): Hier zeigen sich großflächige Verlandungen, die abnehmende Wassertiefen im Bereich von 1-2 Metern zur Folge haben.

Für Entlandungsmaßnahmen sind zudem Zustand und genaue Zusammensetzung der Sedimentablagerungen bedeutsam, da diese das Erosionsverhalten maßgeblich bestimmen. Folglich wurden umfangreiche Sohlproben aus allen Bereichen des Sees sowie vereinzelt Tiefenproben mittels Mohrbohrer entnommen (**Abbildung 33**).

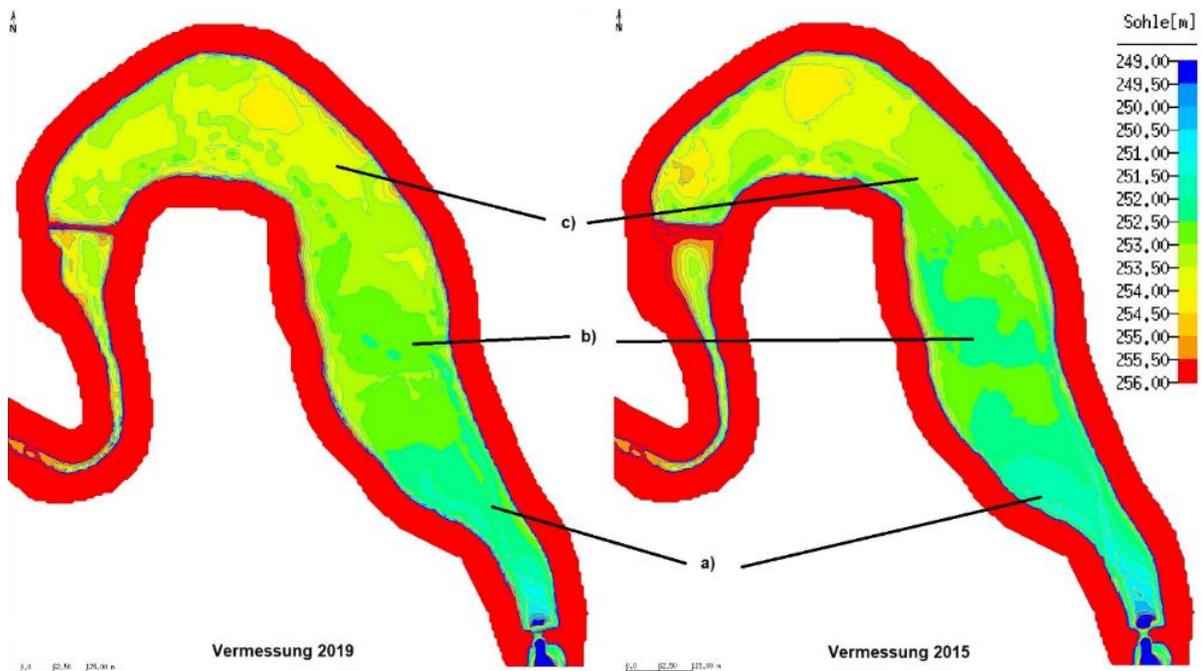


Abbildung 32: Vergleich der Sohlagen des Stausees Bitburg aus den Vermessungen 2015 und 2019

Die Sichtung der Proben und erste Laborergebnisse legen nahe, dass die Sedimentablagerungen im gesamten See ausschließlich aus Feinsedimenten bestehen. Das Material der Proben weist bereits nach rein optischer Beurteilung einen deutlich höheren Wassergehalt auf, was Rückschlüsse auf das Alter der Ablagerungen zulässt. Feinsedimentablagerungen konsolidieren während einer kontinuierlichen Entwässerung. Dabei erhöht sich die zur Erosion nötige kritische Schubspannung, die Schicht verfestigt sich folglich und die nötige Fließgeschwindigkeit bzw. die kritische Schubspannung zum Austrag der Sedimente aus der Stauhaltung nimmt zu.

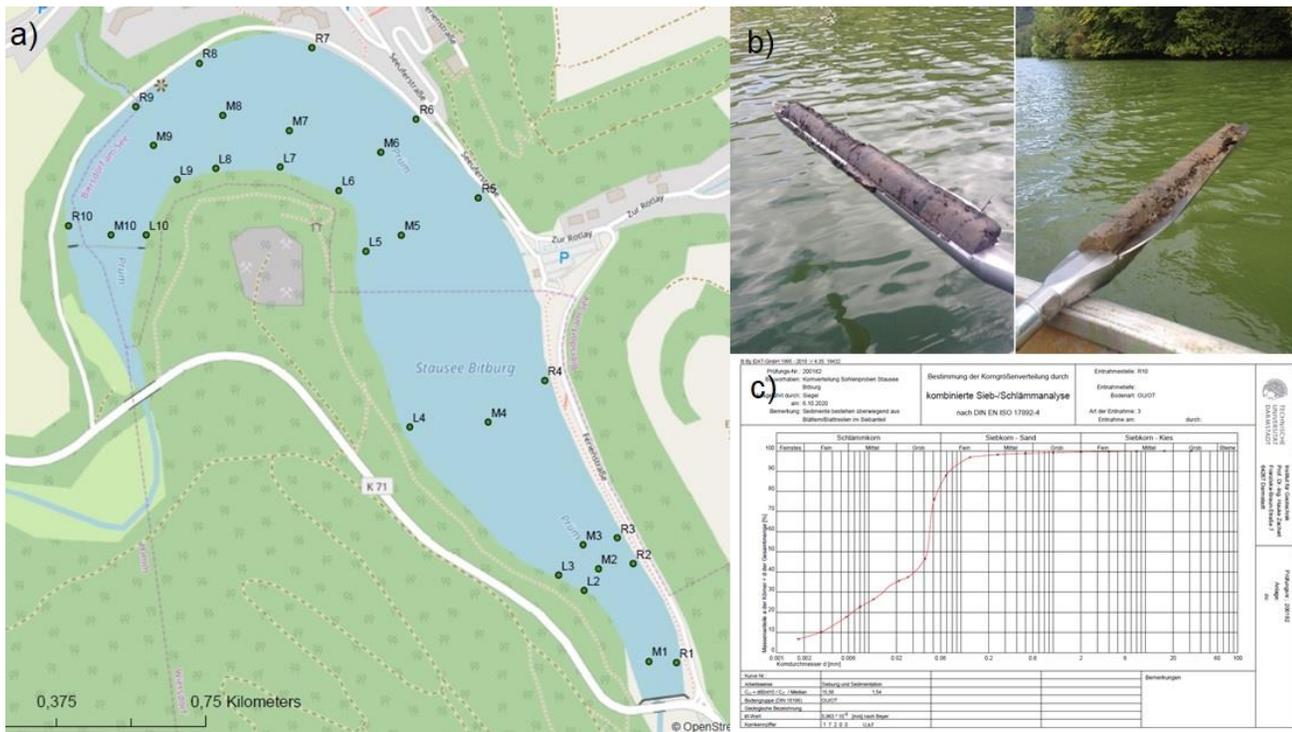


Abbildung 33: Raster der Sohlproben (links); Tiefenproben aus dem Stausee mit variierenden Wassergehalten (rechts oben); exemplarische Sieblinie der Sohlprobe R10 (rechts unten)

Um die bei vollwertigen Spülungsereignissen auftretenden Schubspannungen und Fließgeschwindigkeiten, das erodierte Material sowie die ökologischen Auswirkungen vorherzusagen zu können, kommen numerische Simulationen auf Basis der erhobenen Daten zum Einsatz. Ausgangspunkt ist die Imitation von Abstauereignissen, welche nachfolgend durch stetige Steigerung des Abflusses zu modellierten Spülungsereignissen erweitert werden. Die dabei auftretenden Fließgeschwindigkeiten und Schubspannungen bieten die Möglichkeit, erodierte Sedimentfrachten abzuschätzen (Abbildung 34). Die Maßnahme wird dabei stetig optimiert, um eine fundierte Vergleichsbasis zum vor Ort durchzuführenden kontinuierlichen Sedimenttransfer zu schaffen. Mit der noch ausstehenden Durchführung des kontinuierlichen Sedimenttransfers ist dann mit der eingesetzten Absaugvorrichtung eine in-situ Messreihe zur Ermittlung kritischer Schubspannungen geplant. Mit den dabei erhobenen Daten wird die Modellierung durch die Erweiterung um den Feststofftransport konkretisiert. Damit sind nochmals genauere Vorhersagen über Sedimentfrachten und ökologische Auswirkungen möglich.

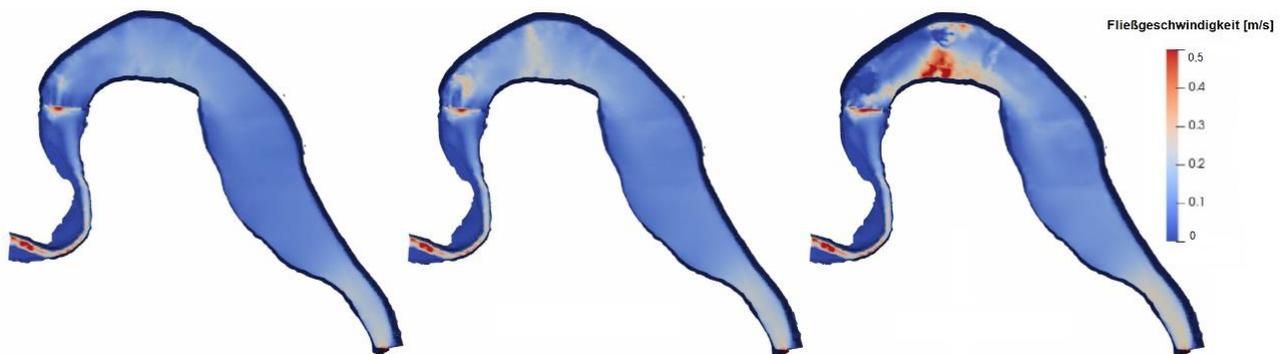


Abbildung 34: Darstellung der oberflächlichen Fließgeschwindigkeit am Stausee Bitburg im Zuge eines simulierten Abstau-Ereignisses

Um die ökologischen Auswirkungen der Maßnahmen bewerten zu können, kommen Multiparametersonden zur Erfassung von Trübung, Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur zum Einsatz. Anstelle der Ermittlung des Saprobienindex werden zudem Kolmationsmessungen mittels Kolmameter nach Hahn

und Zumbroich eingesetzt (Stein et al. 2018). Somit können die beim Saprobienindex erforderlichen langfristigen Messungen vor und nach Maßnahmendurchführung umgangen werden, was im kurzen Projektzeitraum nur schwer realisierbar gewesen wäre. Zudem kann die Problematik der jahreszeitlichen Schwankungen bei der Erfassung des Saprobienindex vermieden werden.

Kolmametermessungen erlauben Aussagen über den Kolmationsgrad der Gewässersohle, was direkte Rückschlüsse auf den ökologischen Gewässerzustand zulässt. Prinzip der Kolmametermessung ist die Bestimmung der Durchlässigkeit von Gewässersedimenten, indem der Wasserdurchfluss mit konstantem Druck über eine definierte Zeit aus einer an der Spitze perforierten und ins Gewässerbett eingebrachten Lanze gemessen wird (**Abbildung 35**). Die Kolmation bewirkt durch die Verstopfung des Kieslückensystems eine Abflussreduktion gegenüber Messungen an Luft, was eine Einteilung der Ergebnisse in Kolmameterklassen erlaubt. (Stein et al. 2018, S. 754)



Abbildung 35: Kolmameter mit perforierter Spitze bei Messung an Luft (Quelle: Stein et al. 2018)

Literatur

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

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

Katharina Bensing, M.Sc.

Projektförderer: Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU)



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



Veranlassung

Das übergeordnete Ziel des Projektes ist es, einen Beitrag zur Verbesserung der abwärts gerichteten Durchgängigkeit zu liefern. Dies erfolgt in der Erarbeitung zweier Kernelemente:

- der Entwicklung eines Messsystems, welches Strömungsparameter dem Fischempfinden angenähert aufzeichnet und
- der Entwicklung eines Modelliersystems, welches basierend auf bestehendem Wissen sowie auch im Projekt gewonnen Erkenntnissen zu den Reiz-Reaktions-Mechanismen von Fischen ausgearbeitet wird, um deren Verhalten beim Abstieg aufbauend auf numerischen Simulationen vorhersagen und visualisieren zu können.

Zusätzlich soll eine Verknüpfung beider Systeme stattfinden. Durch Kombination und Anwendung verschiedener Untersuchungsmethoden werden die genannten Punkte gezielt erarbeitet: die Methoden reichen von Strömungsmessungen mit verschiedenen Messsystemen im Labor und Freiland über Leberndtierbeobachtungen in der Strömungsrinne bis hin zu hydrodynamisch-numerischen Simulationen (**Abbildung 36**). Konkret werden dabei verschiedene Schrägrechen Setups untersucht.

Bisherige Arbeiten

Im Rahmen einer Literaturrecherche werden fortlaufend Informationen zur kleinräumigen Auffindbarkeit und Akzeptanz von Bypass-Installation gesammelt, welche nach aktuellen Erkenntnissen stark von der Anordnung der Feinrechen, der Position der Einstiege zu den Bypässen und den durch die Anlagenauslegung hervorgerufenen Strömungssignaturen bestimmt werden (z.B. Berger 2018, Lehmann et al. 2016). Bisher zeigte sich, dass keine konkreten geometrischen, kinematischen und dynamischen Parameter zu finden sind, welche direkt mit dem Fischverhalten verknüpft wurden. Auch mit dem Strömungsverhalten an Rechen mit horizontalen Rechenstäben (welcher auch im vorliegenden Projekt eingesetzt wird), haben sich bisher nur wenige beschäftigt, wie auch Meister et al. (2020) darlegen. Ebenso ist aktuell nicht bekannt, inwieweit für den Fischaufstieg definierte Parameter ggf. auch für den Fischabstieg anwendbar sind.

Das Versuchssetup wurde zum einen hinsichtlich der Erfüllung situativer Ähnlichkeit zwischen Freiland und Labor (Adam und Lehmann 2011) und zum anderen aufbauend auf den Erkenntnissen eines Vorgängerprojektes (Berger 2018) gewählt und in einem 3D-Modell abgebildet (**Abbildung 37**). Aus der Kombination von je zwei hydraulischen und geometrischen Einstellungen ergeben sich vier verschiedene Setups in der 2 m breiten und ca. 40 m langen Laborrinne, welche es strömungstechnisch und fischbiologisch zu untersuchen gilt.



Abbildung 36: Kombination verschiedener Untersuchungsmethoden im Projekt MeMo Fischabstieg

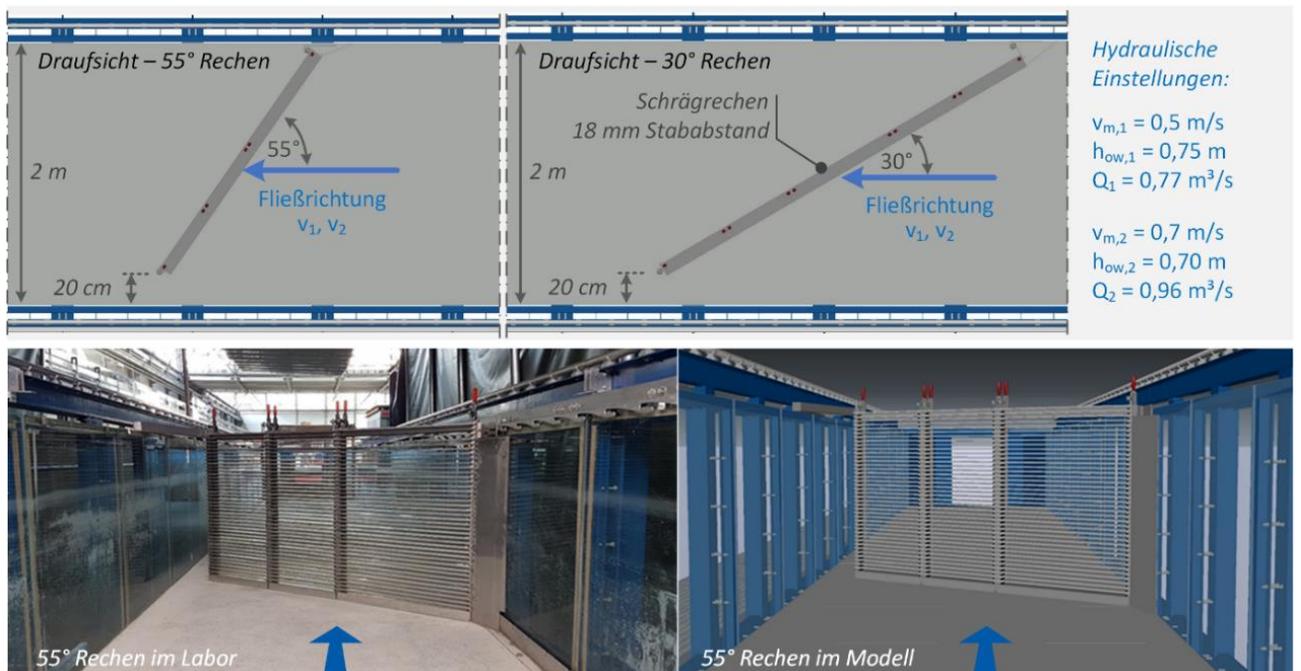


Abbildung 37: Hydraulische und geometrische Setup-Kombinationen am Schrägrechen im Wasserbaulichen Forschungslabor und dessen Abbildung im Modell

In der Vorbereitung auf die Lebendtierversuche mussten nach Bestimmung des Tierschutzgesetzes (TierSchG) sowie der Tierschutz-Versuchstierverordnung (TierSchVersV) Anträge zu deren Durchführung sowie zur Haltung der Tiere im wasserbaulichen Forschungslabor beim Regierungspräsidium in Darmstadt gestellt werden. Nach deren Bewilligung konnten im September und Oktober 2020 erste Versuche mit verschiedenen Fischarten stattfinden (Abbildung 36 – links oben). Die verschiedenen

Arten ermöglichen es, ein breites Spektrum an unterschiedlichen Verhaltensmustern zu untersuchen, um die Ausrichtung und Funktion von Fischschutzrechen sowie die Modellierung des entsprechenden Fischverhaltens für möglichst viele heimische Arten bewerkstelligen zu können. Derzeit erfolgt die Auslegung derartiger Schutzsysteme überwiegend anhand von Befunden aus ethohydraulischen Tests mit Aalen und Lachs-Smolts – für potamodrome Arten existieren dagegen nur sehr wenige ethohydraulische Befunde aus Labor- und Freilandstudien.

Zur messtechnischen Untersuchung der hydraulischen Charakteristika in der Rinne und späteren Korrelation mit dem Fischverhalten, kommen neben einer 3D-hydrodynamisch-numerischen Simulation des Gebietes (**Abbildung 36** – rechts unten) verschiedene Messgeräte zum Einsatz: ein Acoustic Doppler Velocimeter zur Messung der Geschwindigkeitskomponenten in drei Raumrichtungen, ein Ultraschall Abstandsensor zur Messung des Wasserstands sowie dessen lokale Schwankungen und die Fischsinnessonde (FSS; eng: fish sensory sonde) des Centre for Biorobotics der TalTech (**Abbildung 36** – links unten). Letztere wird im Rahmen des Projektes weiterentwickelt und trägt ihren Namen aufgrund der Vielzahl an messbaren Parametern, welche auch von lebenden Fischen mit verschiedenen Sinnesorganen wahrgenommen werden können. Neben den drei Drucksensoren (vorne, rechts und links), welche ein künstliches Seitenlinienorgan darstellen, kann mit der verbauten inertialen Messeinheit (IMU) beispielsweise das Magnetfeld und die lineare Beschleunigung mit 50 Hz aufgezeichnet werden. Nach ersten Messungen mit dem MeMo-V1 Prototypen „Santa“ (**Abbildung 36** und **Abbildung 39**), welcher die Körperform eines 20 cm Lachs-Smolts besitzt, befinden sich nun acht weitere FSS in der Finalisierung. Die Wahl der Körpergeometrien orientiert sich dabei an den für die Tierversuche ausgewählten Fischarten, sodass Sonden verschiedener Größe und Form zum Test vorliegen. Um möglichst naturgetreue Formen zu erhalten, wurden detaillierte 3D-Computermodelle erarbeitet und additiv gefertigt (**Abbildung 38**). Des Weiteren wurde in den neuen FSS eine verbesserte IMU integriert.

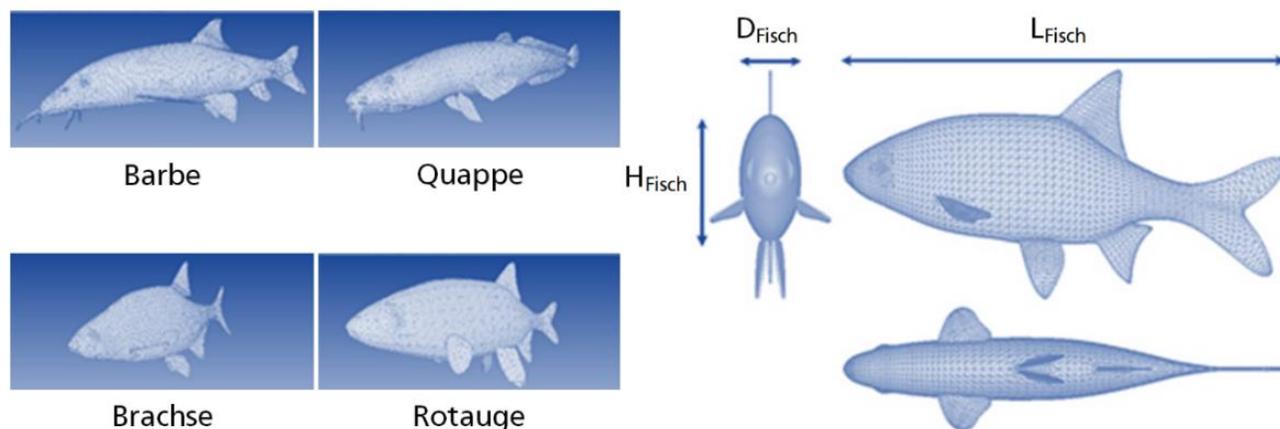


Abbildung 38: Vier der acht 3D Modelle, die auf Basis der Körpergeometrie von echten Fischen für das MeMo Projekt beauftragt wurden (links); Erläuterung der drei Hauptkörpermaße für die Dimensionierung der FSS (Quelle: Centre for Biorobotics, TalTech)

Erste Lebendtierversuche, Messungen und Simulationen wurden bereits durchgeführt, wobei die Beeinflussung des Strömungsgeschehens in der Laborrinne durch den eingebauten Schrägrechen sichtbar wird. Durch die stetige Querschnittsverkleinerung beschleunigt sich die Strömung zum Bypass hin deutlich. Vor allem die großen Geschwindigkeiten unmittelbar vor der Bypassöffnung spiegelten sich im Fischverhalten wieder, da die Tiere im Nahbereich vor der Öffnung oft sehr schreckhaft reagierten und in Richtung Oberstrom flüchteten. Auch die ersten Messergebnisse mit Santa sehen vielversprechend aus (**Abbildung 39**). Da die FSS – wie ein Fisch – positiv rheotaktisch (entgegen der Strömung) ausgerichtet wird, erfährt der im Zentrum angeordnete Drucksensor den größten Druck (Staudruck). Im Vergleich der beiden seitlichen Sensoren zeigt sich, dass der vom linken Sensor aufgenommene Druck gegenüber dem des rechten Sensors einen wesentlich größeren Gradienten entlang des Rechens aufweist. Dies belegt die asymmetrische Wahrnehmung des Strömungsfelds mit dem Seitenlinienorgan. Zu untersuchen ist, was diese Signaturen über die Umgebung aussagen und wie diese gezielt

genutzt werden können, um den Fisch zu leiten. Um den Druckgradienten entlang des Rechens genauer zu analysieren, werden zukünftig auch die Differenzdrücke zwischen den seitlichen Sensoren betrachtet. Auch die turbulenten Schwankungen sind Thema weiterer Untersuchungen.

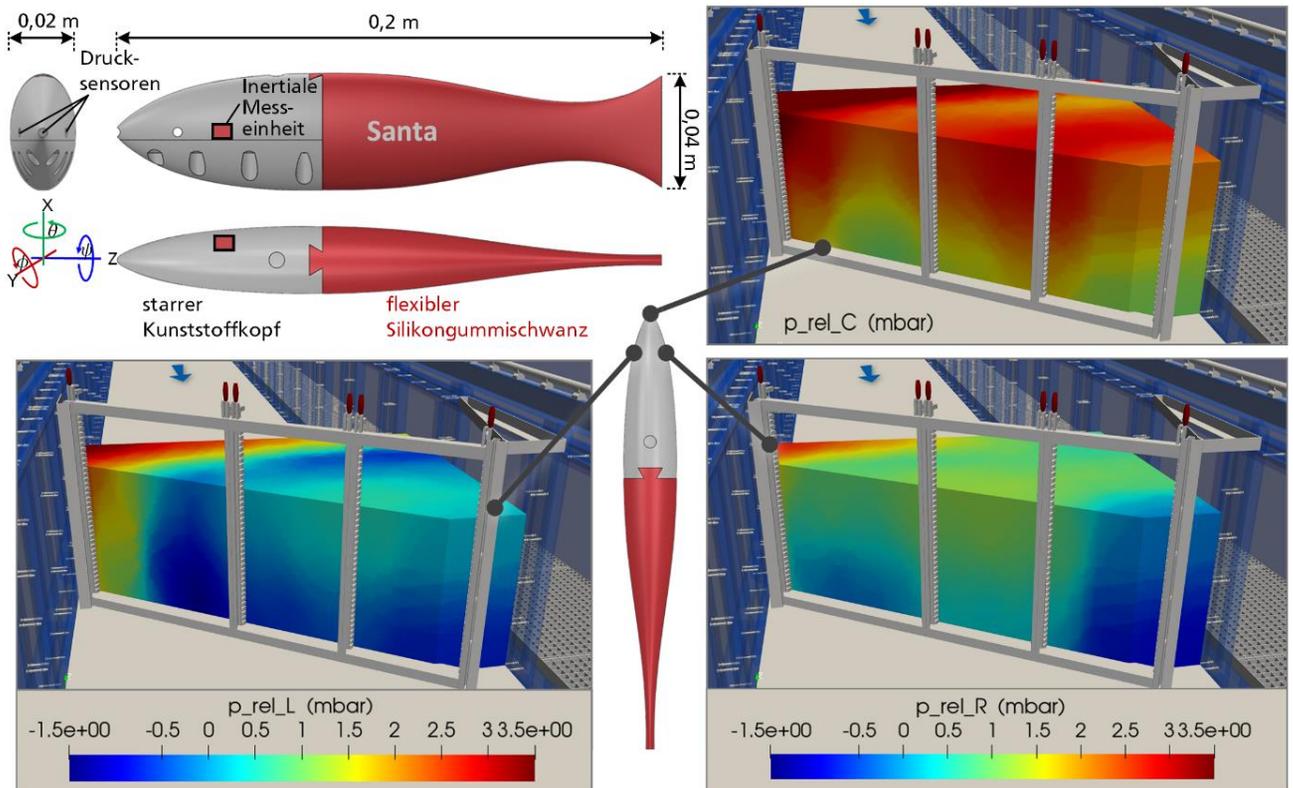


Abbildung 39: Relativer Druckverlauf am Schrägrechen bezogen auf den zuvor gemessenen Atmosphärendruck, abzüglich des mittleren statischen Drucks (Wassersäule): p_{rel_L} (Left sensor), p_{rel_R} (Right Sensor), p_{rel_C} (Center Sensor); Somit können die dynamisch auftretenden mittleren Drucksignaturen untersucht werden; Die Rechenstäbe wurden zur besseren Einsehbarkeit aus der Abbildung entfernt.

Ausblick

Aktuell wird die Vielzahl an Videos aus den Tierversuchen aufbereitet und analysiert. Hieraus sollen Reaktionsräume definiert werden, in denen die Tiere ein differenziertes Verhalten gezeigt haben. Diese werden dann in den nächsten Strömungsmessungen hydraulisch detailliert untersucht. Aufgrund der Verarbeitung sehr großer Datenmengen wird ebenfalls an der Verbesserung des Datenauswertungsprozesses weitergearbeitet. Durch Korrelation der von den Fischen präferierten Räume mit der Vielzahl hydraulischer Parameter aus den Messungen sowie Simulationen, sollen letztendlich ethohydraulische Diagramme erarbeitet werden, die dann in den Modellierungsprozess im Habitatmodell CASiMiR einfließen. Für den Einsatz und Test im Freiland und damit den Transfer der Laborergebnisse wurde der Kontakt zu Betreibern einer Wasserkraftanlage an der Wupper aufgenommen, zu der bereits eine gute Basis bezüglich hydraulischer und fischökologischer Daten vorliegt. Dort finden 2021 weitere Messungen statt.

Literatur

Adam, B.; Lehmann, B. (2011): Ethohydraulik. Grundlagen, Methoden und Erkenntnisse. Berlin: Springer.

Berger, C. (2018): Rechenverluste und Auslegung von (elektrifizierten) Schrägrechen anhand ethohydraulischer Studien. Dissertation. Technische Universität Darmstadt, Darmstadt. Online verfügbar unter <http://tuprints.ulb.tu-darmstadt.de/7186/>.

Lehmann, B.; Adam, B.; Engler, O.; Hecht, V.; Schneider, K. (2016): Ethohydraulische Untersuchungen zur Verbesserung des Fischschutzes an Wasserkraftanlagen. Naturschutz und Biologische Vielfalt Heft 151. Münster: LV Buch Verlag (NaBiV Heft, v. 151).

Meister, J.; Fuchs, H.; Beck, C.; Albayrak, I.; Boes, R. M. (2020): Velocity Fields at Horizontal Bar Racks as Fish Guidance Structures. In: Water 12 (1), S. 280. DOI: 10.3390/w12010280.

Physikalische Untersuchung der Strömungsbedingungen im Zuströmgerinne des Fischliftsystems am Ruhrwehr Baldeney

Robin Ruff, M.Sc.

Projektförderer: Ruhrverband



Veranlassung

Bereits im Wasserjahr 2019 wurde über die seinerzeit geplante physikalische Modellierung der Fischaufstiegsanlage am Ruhrwehr Baldeney berichtet. Im vergangenen Jahr wurde das Modell im Maßstab 1:2 im wasserbaulichen Forschungslabor der TU-Darmstadt errichtet und erfolgreich in Betrieb genommen. Der Versuchsaufbau ist in **Abbildung 40** dargestellt. Anzumerken ist hierbei, dass das Modell aus Platzgründen gespiegelt zur realen Anlage errichtet wurde.



Abbildung 40: Physikalisches Modell an der TU Darmstadt, links: Bereich Vorbecken mit Liftein- und Ausstiegen, rechts: Zulaufrinne mit strömungsbildenden Einbauten

Messungen, Ergebnisse und Interpretation

In mehreren Messkampagnen wurden die Strömungsbilder und -geschwindigkeiten für zwei unterschiedliche Lastfälle untersucht. Im Lastfall 1 war der weiter von der Zuströmrinne entfernte Fischlift 2 vollständig geöffnet, während Fischlift 1 vollständig geschlossen war (**Abbildung 41**). Im Lastfall 2 waren die Einstellungen exakt umgekehrt.

Die Geschwindigkeitsmessung erfolgte mithilfe eines kalibrierten Labor-Miniflügels, jeweils für die Zuströmrinne sowie das Vorbecken der Fischlifte. Zur Bestimmung der Strömungsrichtung wurde eine

Fadenharfe verwendet. Außerdem erfolgte eine Visualisierung des Strömungsbildes mithilfe von Sägespänen und Farbtracern, die in die Strömung eingebracht wurden. Die in der Zuströmrinne gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten waren für beide Lastfälle nahezu identisch und lagen in einem Bereich von 0,14 m/s bis maximal 1,32 m/s. Diese Geschwindigkeiten liegen in einer für Fische unbedenklichen Größenordnung.

Bezüglich der Strömungsrichtungen konnte beobachtet werden, dass sich zwischen den SBE eine Pendelströmung ausbildete, die in **Abbildung 42** und **Abbildung 43** qualitativ dargestellt ist. Genau wie die Strömungsgeschwindigkeiten, war diese für beide Lastfälle nahezu identisch.

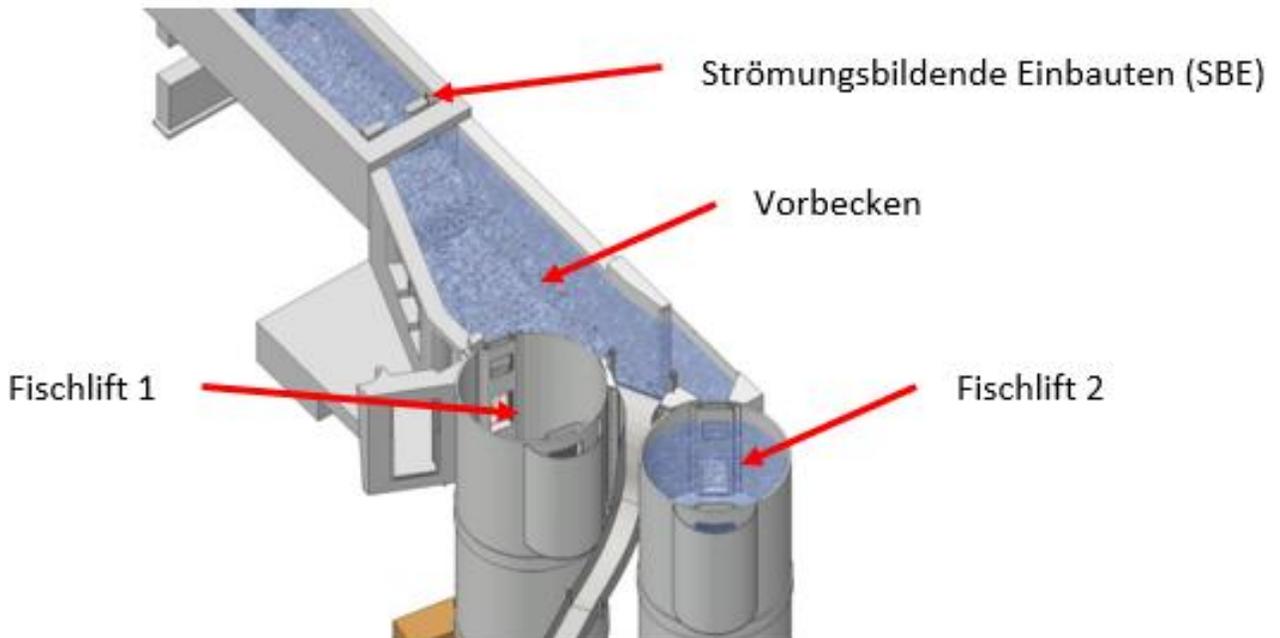


Abbildung 41: Skizzierter Modellausschnitt des Fischliftsystems Baldeney.

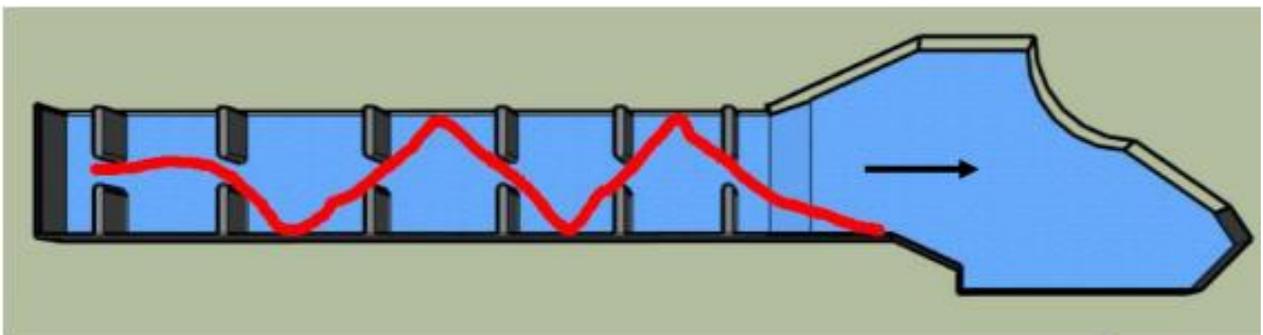


Abbildung 42: Pendeln der Hauptströmung durch die SBE entlang der Zuströmrinne

Im Vorbecken wurden die Strömungsgeschwindigkeiten anhand eines engmaschigen Messrasters bestimmt. Für den Lastfall 1 lagen die Strömungsgeschwindigkeiten hier zwischen 0,00 m/s und 1,12 m/s und für den Lastfall 2 zwischen 0,00 m/s und 0,85 m/s. Wie bereits erwähnt, sind diese Werte für Fische unbedenklich. Bezüglich der Strömungsrichtungen im Vorbecken konnte beobachtet werden, dass die Hauptströmung aufgrund der Ablenkung am letzten SBE auf die den Fischliften gegenüberliegende Wand traf (**Abbildung 44**). Dort verlief sie als oberflächennaher Strahl bis zum Zylinder von Fischlift 2, wo sie absank. Im Lastfall 2 verlief die Strömung anschließend bodennah entlang der Wand bis zum geöffneten Fischlift 1.

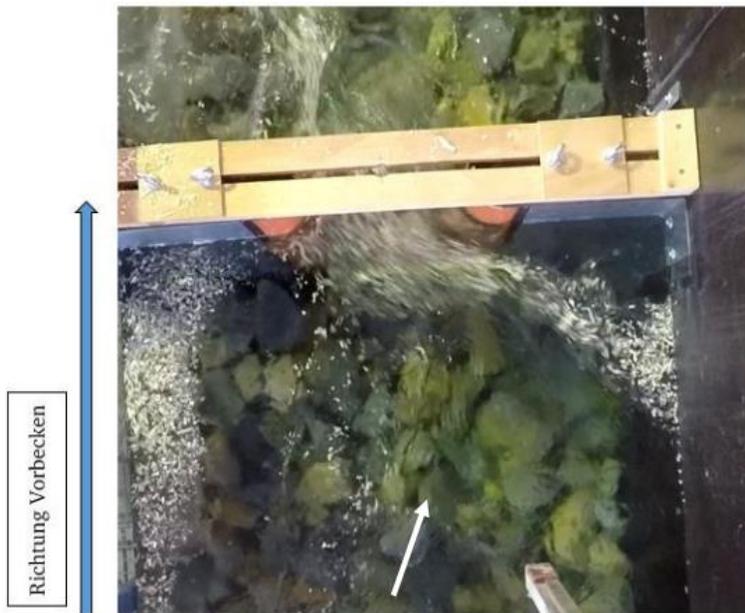


Abbildung 43: Darstellung der Pendelströmung. Die Hauptströmung trifft schräg von rechts auf die SBE, während auf der linken Seite Totwasser auftritt.

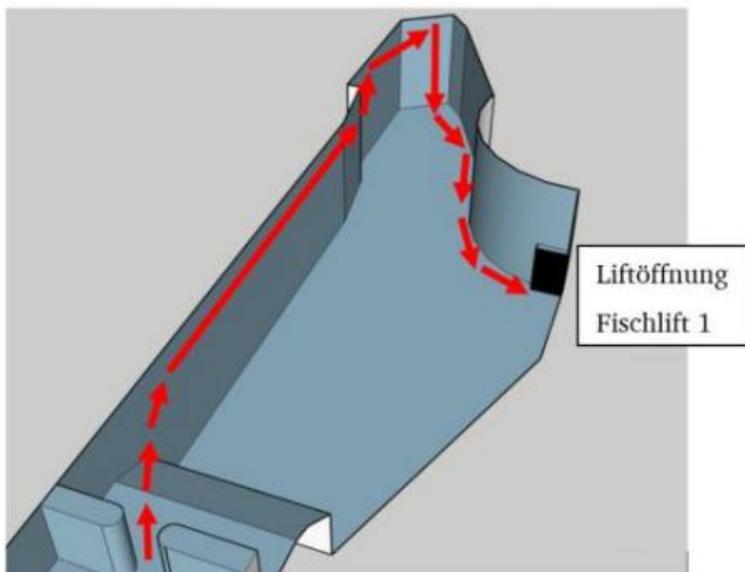


Abbildung 44: Qualitative Darstellung der Hauptströmungsrichtung im Vorbecken für den Lastfall 2

Abgesehen von der dargestellten Hauptströmung, waren die Strömungsgeschwindigkeiten im Vorbecken sehr gering und in den meisten Fällen nahezu bei null. Laut Aussage der beteiligten Fischökologen stellt dieses ungewöhnliche Strömungsbild jedoch kein Problem für wandernde Fische dar.

Ausblick

Die grundsätzliche Tauglichkeit der Anlage für den Fischauf- und -abstieg konnte somit belegt werden. Weitere Versuchsreihen am Modell sollen sich mit der Steuerung und Regelung des Übergangs zwischen den beiden Lastfällen beschäftigen. Dies wird notwendig sein, um die geforderten Wasserspiegellagen und Fließgeschwindigkeiten zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten. Doch zunächst erfolgt eine Kontrolle in Verbindung mit einem Fischmonitoring an der mittlerweile erfolgreich in Betrieb gegangenen realen Anlage in Baldeney.

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

Robin Ruff, M.Sc.

Projektförderer: Stiftung der Deutschen Wirtschaft



Veranlassung

Im Wasserjahr 2019 wurde bereits über die Grundlagen der dezentralen Energieerzeugung mithilfe eines elektrischen Bootsmotors, der im Umkehrbetrieb als Generator arbeitet, berichtet. Hierzu fanden im vergangenen Jahr experimentelle Untersuchungen im wasserbaulichen Forschungslabor statt.

Aktueller Stand der Forschungsarbeit

In einem ersten Schritt wurde das Leistungsverhalten des ausgewählten Motors in Trockenversuchen ermittelt. Hierfür wurde der Motor mithilfe einer Bohrmaschine mit fest eingestellten Drehzahlen angetrieben und die daraus resultierende Spannung bei unterschiedlicher Belastung gemessen. Der hierfür verwendete Versuchsaufbau ist in **Abbildung 45** dargestellt.

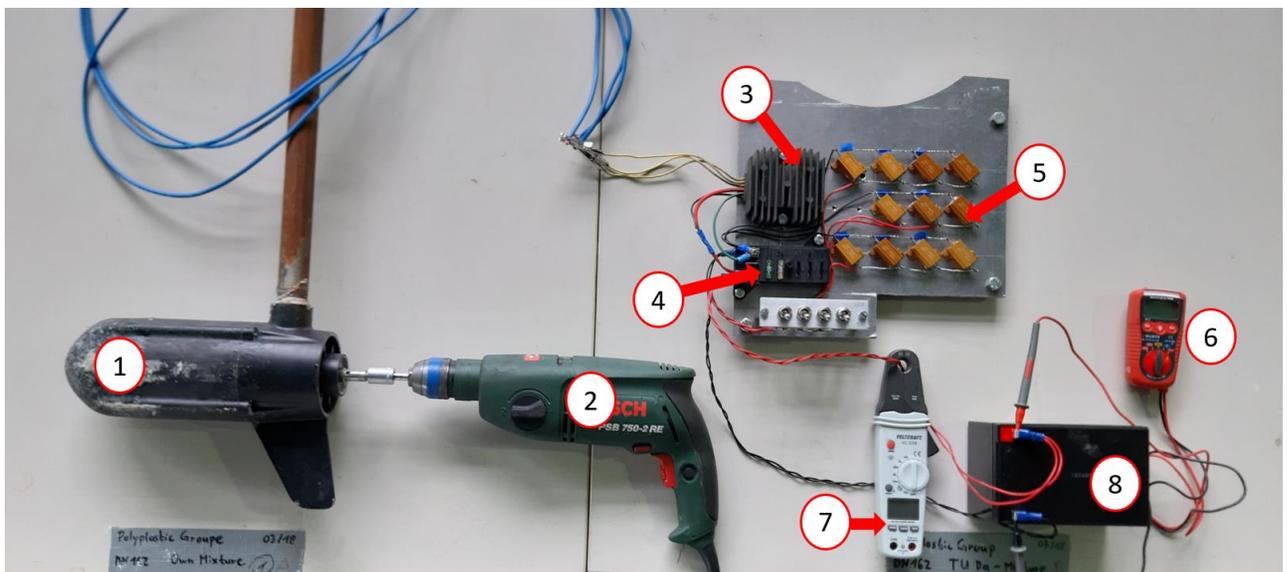


Abbildung 45: Versuchsaufbau zur Leistungsbestimmung. 1: Elektromotor, 2: Bohrmaschine mit verstellbarer Drehzahl, 3: Lichtmaschinenregler, 4: Sicherung, 5: Lastwiderstände, 6: Spannungsmessung, 7: Stromstärkemessung, 8: 12-V-Autobatterie

Im geplanten Einsatz soll die Turbine beispielsweise die Beleuchtung von kleinen Anlagen oder Dörfern mit elektrischer Energie versorgen. Die überschüssige Energie wird im Idealfall gespeichert. Die späteren Verbraucher wurden im Versuchsaufbau durch insgesamt 11 Lastwiderstände von je 8,2 Ohm dargestellt, die flexibel zu- oder weggeschaltet werden konnten. Als Speicher wurde eine herkömmliche Autobatterie verwendet, da diese auch in Entwicklungsländern leicht verfügbar sein sollte. Zum vollständigen Laden einer solchen Batterie wird eine Spannung von etwa 12 Volt benötigt, weshalb dies während den Versuchen als Zielwert angenommen wurde. Um eine gleichmäßige Spannung von 12 Volt zu gewährleisten, wurde zwischen dem verwendeten Bootsmotor und der Batterie ein Motorrad-Lichtmaschinenregler verbaut. Für den gewünschten Ladestrom wurde ein Wert von 1 Ampere angesetzt. In **Abbildung 46** sind die notwendigen Drehzahlen zum Erreichen des gewünschten Ladestroms dargestellt.

Erkennbar ist, dass die notwendige Drehzahl sich in einem Bereich von etwa 1.000 bis ca. 1.200 U/min befindet. Unterhalb dieser Drehzahl fallen die generierte Spannung sowie der erreichte Ladestrom deutlich ab. Die im Einsatz erreichte Drehzahl sollte demnach einen Wert etwa von etwa 1.000 Umdrehungen pro Minute nicht unterschreiten.

Die bei den dargestellten Drehzahlen vom Motor generierte Leistung lag zwischen 11 und 116 W, je nach Anzahl der zugeschalteten Lastwiderstände. Dies erscheint zunächst zwar wenig, ist jedoch ausreichend, um beispielsweise kleinere Beleuchtungsanlagen mit elektrischer Energie zu versorgen.

In Vorversuchen wurden auch deutlich höhere Leistungswerte von bis zu 260 W gemessen. Hierfür war allerdings eine Drehzahl von etwa 1.500 U/min notwendig, die im Einsatz unrealistisch ist. Die tatsächliche Obergrenze der Leistungsfähigkeit des Bootsmotors im Generatorbetrieb konnte nicht ermittelt werden. Ursache hierfür ist der eingesetzte Lichtmaschinenregler, der auf ein 12-Volt-System ausgelegt ist. Überschreitet die Spannung im System einen Wert von etwa 14 Volt, verursacht der Lichtmaschinenregler eine Rückkopplung, die zu starkem Ruckeln im Motor führt und Schäden am ganzen System verursachen kann.

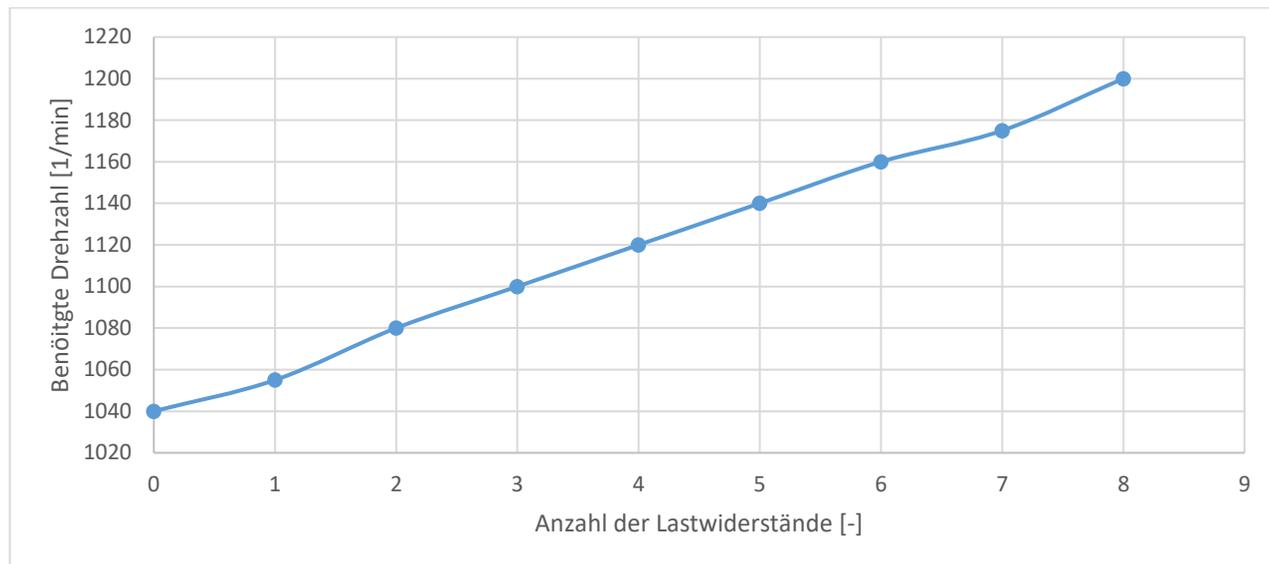


Abbildung 46: Notwendige Drehzahl des Motors zur Erzeugung eines Batterieladestroms von 1 A bei einer Batteriespannung von 12 V

Die grundsätzliche Eignung eines bürstenlosen Gleichstrommotors als Generator in einer Turbine kann also bejaht werden. Der Motor ist offensichtlich in der Lage, Leistungen von mehreren Hundert Watt zu erbringen. Begrenzt wird er dabei jedoch durch den angeschlossenen Lichtmaschinenregler sowie die hohen benötigten Drehzahlen.

Die weiteren bisher erfolgten Untersuchungen am Motor fanden in der Tiefrinne des wasserbaulichen Forschungslabors der TU-Darmstadt statt. Hierfür wurde der Generator fest in der Rinne verbaut und mit unterschiedlichen Durchflüssen und Fließgeschwindigkeiten beaufschlagt. Die Ergebnisse sind in **Abbildung 47** dargestellt.

Zunächst fällt auf, dass die Drehzahlen noch deutlich unterhalb des angestrebten Wertes von 1.000 – 1.200 U/min liegen. Weiterhin ist ersichtlich, dass ein nahezu linearer Zusammenhang zwischen Strömungsgeschwindigkeit und erreichter Drehzahl vorhanden ist. Geht man davon aus, dass diese Beziehung auch bei höheren Fließgeschwindigkeiten konstant bleibt, kann die notwendige Strömungsgeschwindigkeit zum Erreichen der angestrebten Drehzahl abgeschätzt werden. Durch Extrapolation der Messwerte konnten hier notwendige Strömungsgeschwindigkeiten zwischen etwa 2,6 m/s bei null Widerständen und 3,5 m/s bei elf Widerständen ermittelt werden. Diese Geschwindigkeiten werden in der Natur offensichtlich nicht erreicht, weshalb weitere Modifikationen an der Turbine notwendig sind.

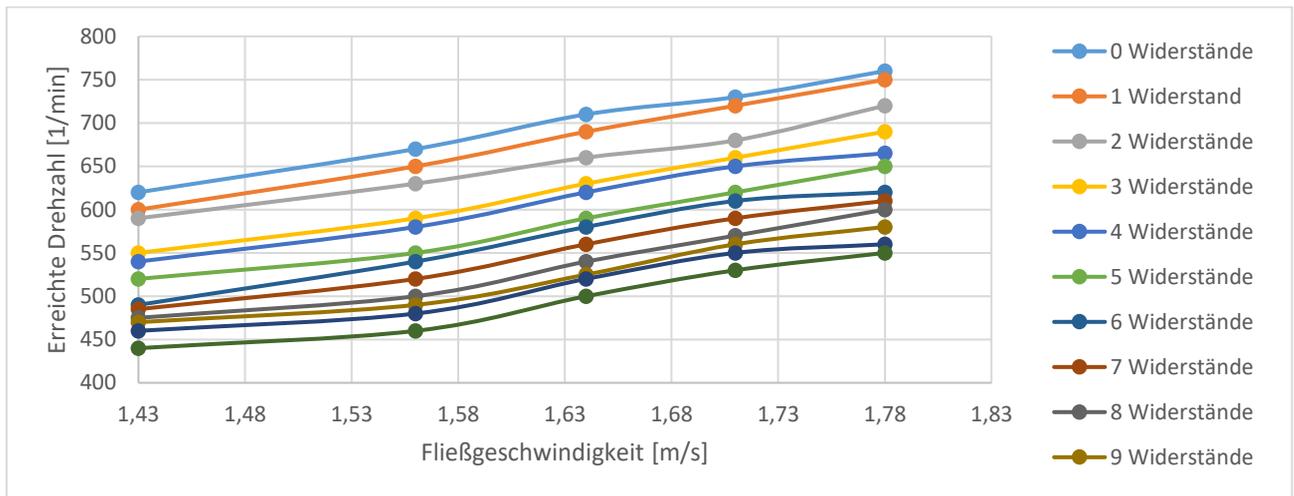


Abbildung 47: Erreichte Drehzahlen in Abhängigkeit von der Anströmgeschwindigkeit und Belastung

Die erste und einfachste Möglichkeit besteht in der Modifikation des angebrachten Rotors. Für die Versuche wurde der standardmäßig am Motor verbaute Rotor verwendet. Durch Verwendung eines Rotors mit besserer Kraftübertragung bzw. höherer Schnelllaufzahl (= Verhältnis zwischen Umlaufgeschwindigkeit und Anströmgeschwindigkeit) könnte die Drehzahl deutlich erhöht werden. Zielsetzung ist es auch hier, Bauteile zu verwenden, die leicht und kostengünstig verfügbar. Ideal geeignet sind somit Bauteile, die beispielsweise auf Schrottplätzen zu finden sind.

Die Messreihen wurden anschließend mit unterschiedlichen Rotoren wiederholt, jedoch ohne dass eine Steigerung der Drehzahl erreicht werden konnte. Verwendet wurden beispielsweise Rotoren aus ausgemusterten Ventilatoren oder Gewächshauskühlern (Abbildung 48). Ebenfalls wurde versucht, eine Steigerung der Drehzahl zu erreichen, indem mehrere Rotoren gleichzeitig an die Welle gekoppelt wurden.



Abbildung 48: In der Tiefrinne verbauter Bootsmotor mit unterschiedlichen Rotoren. Links: Propeller aus einem Ventilator, Mitte: Propeller aus einem Gewächshauskühler, rechts: doppelter Propeller aus einem Bootsmotor

Ausblick

Da bisher ausschließlich Rotoren verwendet wurden, die einen größeren Radius als der ursprünglich verwendete Rotor hatten, sollen für die nächsten Untersuchungsschritte die Messungen noch mit kleineren Rotoren wiederholt werden, wie sie beispielsweise in PC-Kühlern zu finden sind.

Eine weitere Möglichkeit der Drehzahlsteigerung besteht in einer Ummantelung der Turbine. Hierbei wird die Turbine mit einer vorgeschalteten Düse und/oder einem nachgeschalteten Diffusor versehen. Hierdurch lässt sich die Strömungsgeschwindigkeit direkt am Rotor signifikant erhöhen.

Fazit zur Deichstabilisierung mittels qualifizierter Bodenverbesserung

Sirko Lehmann, M.Sc.

Projektpartner: Institut für Geotechnik der TU Darmstadt



Rückblick

Im vergangenen Jahr wurde das Institut für Geotechnik neu besetzt, während der Interimszeit sind das Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik sowie das Institut für Geotechnik immer mehr zusammengeführt. Bedenkt man, dass beide Institute früher einmal eines waren, ist dies eine Art „Back to the roots“. Ich habe während des letzten Jahres je eine halbe Stelle beim Fachgebiet Wasserbau und beim Institut Geotechnik innegehabt. Speziell bei der Geotechnik war es mein Auftrag, dort den Lehr- und Verwaltungsbetrieb aufrecht zu erhalten und gemeinsam mit den dortigen Kolleginnen und Kollegen das Institut auch im Forschungsbereich gemeinsam mit dem neu berufenen Prof. Hauke Zachert weiterzuentwickeln. Parallel dazu wurden im Rahmen eines von Prof. Lehmann für den Fachbereich ausgearbeiteten Hallen- und Laborkonzeptes das technische Personal der Geotechnik und des Wasserbaus in einer Gemeinschaftswerkstatt überführt, welche unter der wissenschaftlichen Leitung von Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann steht.

Sowohl die Arbeiten auf wissenschaftlicher als auch auf administrativer Basis funktionieren mittlerweile reibungslos, wodurch beide Institutionen stark profitieren. So können Ressourcen bestmöglich ausgenutzt und die Kompetenzen in gemeinsamen Projekten vereint werden.

Neben diesen Lehr- und Verwaltungsaufgaben beschäftigte ich mich in meinem letzten Jahr am Fachgebiet vor allem mit der Finalisierung meiner Promotion, die ich Ende des Jahres erfolgreich verteidigt habe. Meine Promotion fokussiert ebenfalls an der Schnittstelle der Disziplinen Wasserbau und Geotechnik und beschäftigt sich mit dem Flussdeichbau, mit dem sich bereits zwei meiner Vorgänger (Dr.-Ing. Jesper Steuernagel und Dr.-Ing. Tobias Kubezek) beschäftigen durften. Im speziellen haben sich meine wasserbaulichen Versuche und Berechnungen damit beschäftigt, die Technologie der qualifizierten Bodenverbesserung für den Flussdeichbau zugänglich zu machen. Folgend werde ich einen Kurzüberblick über meine Ergebnisse geben. Die Dissertationsschrift selbst wird in 2021 digital im Rahmen der Mitteilungsreihe des Instituts publiziert.

Ergebnisse und Fazit

Die Qualifizierte Bodenverbesserung ist dabei eine etablierte Technologie, welche vor allem im Verkehrswegebau Anwendung findet. Dabei wird ein Bindemittel (Kalk und/oder Zement) einem Bodensstoff zugemischt um dessen bautechnische Eigenschaften und Kenngrößen zu verändern. Im Speziellen werden hierdurch die Bodenkennwerte Wichte, Reibungsparameter, Steifigkeit und Durchlässigkeitsbeiwert verändert. Hierdurch lassen sich zum Beispiel steilere Böschungen erzeugen, als mit reinem Erdmaterial, bisher scheut man sich jedoch diese Technologie im Hochwasserschutz einzusetzen, da es noch keine Erfahrungswerte gibt. Das soll sich nun ändern.

Meine Arbeit ist dabei auf vier Säulen aufgebaut, welche durch Versuche und Berechnungen gestützt werden. Diese Säulen sind ein trockener, ein durchströmter und ein gleichzeitig durch sowie überströmter Deichquerschnitt. Die letzte Säule beschäftigt sich mit weiteren mechanischen und biologischen Aspekten des Deiches, wie Wühltieren und der Grasnarbe. Die Stabilität des in der Tiefrinne eingebauten Ausschnittmodells ist beeindruckend. Er konnte weder durch einen einjährigen Einstau, noch durch eine heftige Überströmung mit ca. $1 \text{ m}^3/\text{s}$ oder dem zusätzlichen angreifen eines landseitigen Wechselsprunges Schaden nehmen und musste anschließend mit Hilfe von massiven Werkzeugen rückgebaut werden (Abbildung 49).



Baustoffmischung:
Wasser + Bindemittel + Boden



Beim Einbringen des Gemisches in die Tiefrinne
helfen alle mit



Überströmung mit landseitigem Wechselsprung



Einbringen von Wühlmausgroßen Initialschäden



Wühltierversuch mit Hund und
Köder im Initialschaden



Anwachsversuch einer
Grasnarbe



Ausbau mittels Schlagbohrer

Abbildung 49: Impressionen zu den durchgeführten Deichversuchen im wasserbaulichen Forschungslabor

Als Fazit lässt sich festhalten, dass die Technologie auch für den Bau von Hochwasserschutzanlagen durchaus vielversprechend ist. Die qualifizierte Bodenverbesserung wird den Erddeichbau nicht ersetzen, sondern vielmehr eine Alternative für all jene Situationen schaffen, in der es aufgrund von externen Einwirkungen nicht möglich ist, einen klassischen Deich zu errichten. Dies können monetäre oder räumliche Aspekte sein, aber auch Stellen, an denen eine bewusste Überströmung der Deichlinie als

„Notventil“ geplant werden soll. Untenstehend sind ein paar der Highlights der Untersuchung als Abbildungen dargestellt.

Mit dem Abschluss meiner Promotion endet nun nach mehr als fünf Jahren meine Tätigkeit am Fachgebiet Wasserbau und Hydraulik. Ich werde an meine Zeit immer gerne zurückdenken - das kollegiale, fröhliche und familiäre Klima hat mich in meinem frühen Berufsleben stark geprägt und ich hoffe bei meinen neuen Aufgaben ähnlich viel Spaß zu haben und freue mich mit der TU Darmstadt weiterhin in Verbindung zu bleiben.

Federwehr: Stauzielerhöhung eines dynamischen Wehrständers

Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann und Steve Borchardt, M.Sc.

Projektförderer: Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst, HessenAgentur GmbH, LOEWE



HessenAgentur

HA Hessen Agentur GmbH



Exzellente Forschung für Hessens Zukunft

Projektpartner: Firma Wiegand



Beschreibung des Projektverlaufs

Im Laufe des Projektes wurde eine Vielzahl an unterschiedlichen Federwehrkonfigurationen getestet und die Ergebnisse umfangreich dokumentiert, um die physikalischen Zusammenhänge herauszuarbeiten. Über mehrere Versuchsreihen wurde in einem eigens dafür errichteten wasserbaulichen Versuchsstand (**Abbildung 50**) sukzessive vorgegangen, um die zahlreichen Einflussfaktoren, welche auf das Federwehr wirken, zu isolieren und zu bestimmen. Dazu wurde zuerst die ursprüngliche Wehrkonfiguration als Grundlage getestet. Verbesserungspotential wurde auch an dieser Konfiguration erkannt. Aufgrund der Vergleichbarkeit mit vorhandenen Wehranlagen und Erfahrungswerten der Fa. Wiegand mit dem bestehenden Stauziel, wurden potenzielle Verbesserungen bereits an dieser Wehrhöhe getestet und mit der angestrebten Stauzielerhöhung nochmals deutlich vertieft betrachtet.

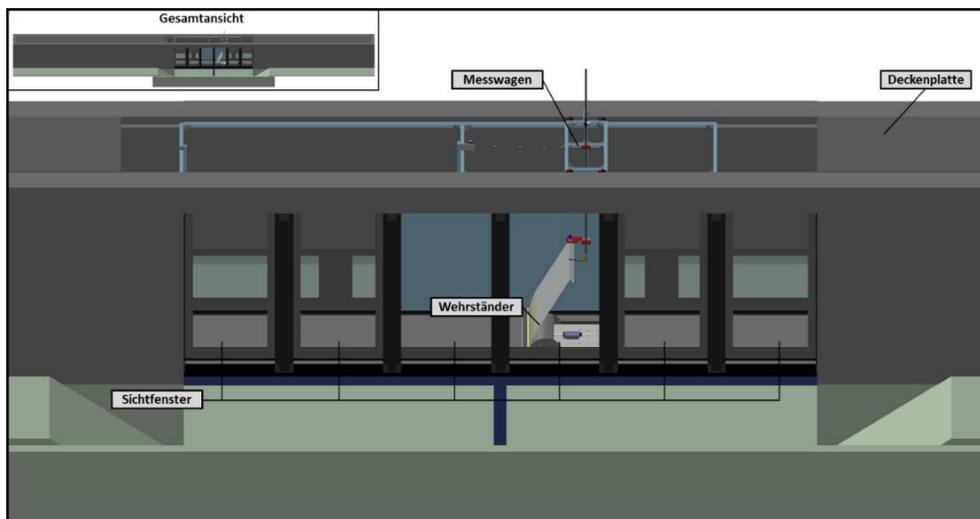


Abbildung 50: Computermodell des wasserbaulichen Versuchsstandes in der Tiefrinne des wasserbaulichen Forschungslabors

Messdatenerfassung

Der oberen Rand der Tiefrinne im wasserbaulichen Forschungslabor ist als Auflager für Deckenplatten ausgeführt, um die Tiefrinne bei Bedarf abzudecken und für diesen Bereich wieder einen durchgängigen und verkehrssicheren Hallenboden herzustellen. In die seitlichen Auflager war ein Rahmen aus Aluminium-Systemprofilen eingelegt, der als Schienensystem zur Befestigung von Messgeräten und Führung eines Messwagens diente (**Abbildung 51**).



Abbildung 51: Messwagen folgt der Verschiebung der Überfallkante mittels vertikaler Linearführung auf dem seitlichen Schienensystem

Eine Abflussänderung führte zu einer horizontalen und vertikalen Verschiebung der Überfallkante des Federwehrs. Über seitliche Führungsrollen folgte der Messwagen auf dem Schienensystem der horizontalen Verschiebung der Überfallkante. Hierfür war der Messwagen (**Abbildung 51**) axial über weitere Führungsrollen mittels einer vertikalen Linearführung an der Überfallkante eingespannt. Die horizontale Verschiebung des Messwagens (③ in **Abbildung 52**) und die vertikale Verschiebung der Linearführung (④ in **Abbildung 52**) wurden über zwei Seilzug-Potentiometer getrennt erfasst.

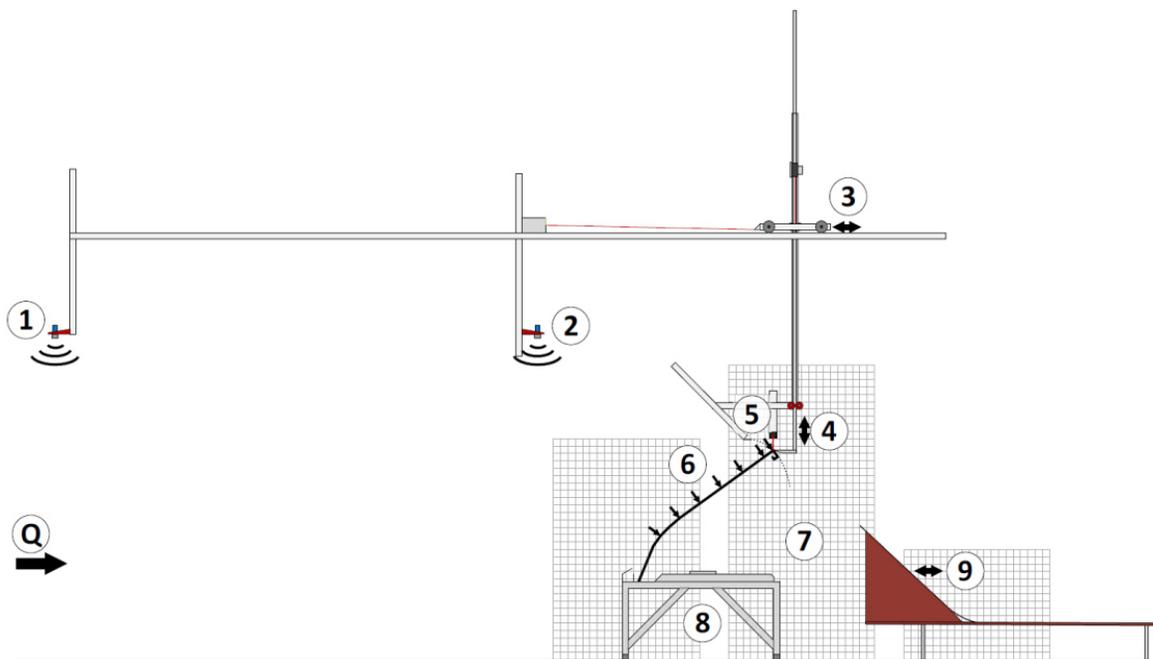


Abbildung 52: Schematische Darstellung der Messdatenerfassung

An der Aufhängung der vertikalen Linearführung war ein Ultraschall-Abstandssensor (UAS) für die Bestimmung der Dicke des beginnenden Überfallstrahls an der Überfallkante montiert. Im Laufe des Projekts wurde der UAS durch einen Laserdistanzsensor (⑤ in **Abbildung 52**) ersetzt. Der Laserdistanzsensor tastete einen weißen Folienstreifen ab, der sich an die Wasserspiegelkontur anpasste.

Im Projektverlauf wurden die Definitionen und Zielvorgaben kontinuierlich geprüft und gezielt auf verbreitete wissenschaftliche Zielvorgaben und Definitionen angepasst, sodass das Federwehr sowohl aus wissenschaftlicher Sichtweise mit bestehenden Produkten zu vergleichen ist als auch, um die Vorteile des Federwehrs im Vergleich zu anderen Produkten in wirtschaftlicher Sichtweise besser herausarbeiten zu können.

Ausblick und Perspektive aus wissenschaftlicher Sicht

a) Hydraulische Vorgänge im Unterwasserbereich

Der Überfallstrahl teilt sich in einen wasserabführenden und einen rückwirkenden Strömungsanteil auf. Dabei kann es zu einem Aufstau mit rückwirkender Stützkraft auf das Federwehr kommen. Dieser rückwirkende Aufstau beeinflusst den Federweg und verändert die Überfallcharakteristik des Federwehrs nachteilig. Obwohl das Federwehr seitens der Überfallcharakteristik viele Ähnlichkeiten zu Klappenwehren aufweist, können die Ergebnisse durch die statische Wehrkontur nicht uneingeschränkt übertragen werden. Die gemessene Druckverteilung wird durch vergleichbare Wehrkonturen verschiedener Klappenwehre in der Literatur bestätigt.

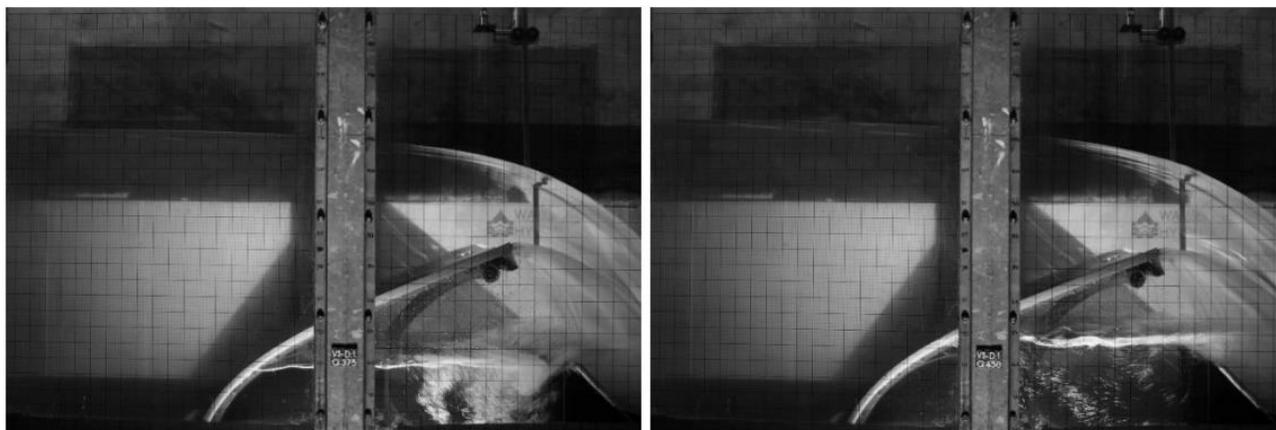


Abbildung 53: Unterwasserseitiger Aufstau durch unzureichende Entwässerungsleistung und Ablenkung des Überfallstrahls.

Um durch die unterwasserseitigen Verhältnisse eine Beeinflussung auf die Messungen auszuschließen, war eine ausreichende Belüftung und ein minimaler rückwirkender Strömungsanteil zu gewährleisten (**Abbildung 53**). Die Belüftung erfolgte bei den Versuchen unterwasserseitig über eine flexible Rohrleitung und der vertikalen Linearführung des Potentiometers an der Überfallkante, die gleichzeitig die Funktion eines Strahlaufreißers übernahm. Empfehlungen zur Vermeidung und Reduzierung des rückwirkenden Strömungsanteils sollten mit Blick auf die Umsetzung in der Praxis weiterentwickelt werden. Diese Ergebnisse sollen auf Basis zukünftiger Forschungsprojekte auf Federwehrkonstruktionen (Prototypstandorte) übertragen werden und langfristig Anwendung finden.

b) Wasserspiegellagenmessungen an gekrümmten Oberflächen

An der Überfallkante entsteht durch die Strahlablenkung des Wehrüberfalls ein stark gekrümmter Wasserspiegel. Die Wasserspiegellagen im Oberwasser können durch kalibrierte Ultraschallabstands-Sensoren berührungslos mit einer Genauigkeit im Millimeterbereich erfasst werden. Überschreitet die Winkelabweichung zwischen dem Sensor und der Wasseroberfläche einen Schwellenwert, so kommt es durch die starke Wasserspiegelkrümmung an der Überfallkante zu fehlerhaften Messungen mit einem UAS. Projektbegleitend kam daher als alternative berührungslose Messmethode ein Laser-Distanz-Sensor zum Einsatz.



Abbildung 54: Berührungslose Messung der Wassertiefe an der Überfallkante mit Laser-Distanz-Sensor und schwimmenden Folienstreifen als Reflektor. Blickrichtung vom Beobachtungsraum (links) und von oben (rechts).

Da der gebündelte Lichtstrahl an der Wasseroberfläche gebrochen wird, ist zusätzlich eine reflektierende Oberfläche erforderlich, die sich an die Wasserspiegelkrümmung anpasst. Hierzu wurde ein dünner Folienstreifen verwendet, der einseitig an der vertikalen Linearführung montiert ist. Das lose Ende des Folienstreifens schwimmt dagegen auf der Wasseroberfläche und passt sich der Überfallstrahlkontur an (**Abbildung 54**). Die Länge des Folienstreifens muss dabei die zunehmende Wassertiefe und die abnehmende Wehrhöhe mit steigendem Abfluss abdecken. Diese Messmethode ergänzte die visuelle Wassertiefenbestimmung durch das Messraster und ermöglicht durch das Aufzeichnen der Messdaten eine statistische Auswertung. Der Laserdistanz-Sensor mit Reflektorfolie erwies sich bei Wasserspiegelkrümmungen als geeignete berührungslose Messmethode, die durch eine gezielte Anwendung weiterentwickelt und optimiert werden soll.

Einsatz TLS im Wasserbaulabor

Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Projektpartner: Fachgebiet Geodätische Messsysteme und Sensorik,
Prof. Andreas Eichhorn



Konventionelle Vermessungsmethoden liefern im Allgemeinen lediglich punktuelle Information und/oder sind sehr aufwendig. Durch die Entwicklung im Bereich des terrestrischen Laserscannings (TLS) eröffnen sich neue Möglichkeiten zur effizienten Erfassung von flächenhaften Messdaten (Punktwolken) bei begrenztem Aufwand.

In der wasserbaulichen Praxis treten häufig Fragestellungen auf, bei denen u. a. flächenhafte Geometrieminformationen von Interesse sind. Dies trifft in diesem Zusammenhang sowohl auf die Erfassung von absoluten Geometrien, aber auch von Geometrieänderungen zu. Beispiele dafür sind u. a. morphologische Veränderungen infolge von Erosions- und Auflandungsprozessen durch lokale Strömungserscheinungen z. B. bei Hochwasserentlastungsanlagen (HWEA).

Im Gegensatz zu bisherigen Arbeiten im Themenfeld Wasserbau und TLS liegt ein Fokus unserer Anwendung nicht bei der Erfassung der Situation vor Ort /im Gelände, sondern bei Laboruntersuchungen im wasserbaulichen Forschungslabor.

Die Anwendung ist im Folgenden konkret an zwei Beispielen veranschaulicht:

- Physikalische Modelluntersuchung zu Erosionsprozessen und der Kolkentwicklung (Hochwasserentlastungsanlage, siehe **Abbildung 55**)
- Bauteilverformungen an einem Wassertank infolge sich ändernder Belastung (siehe **Abbildung 56**)

In **Abbildung 55** ist zunächst das Endergebnis einer 3D-Erfassung mittels TLS dargestellt. Die Abbildung soll einerseits einen Auszug der Darstellungsmöglichkeiten für eine Punktwolke aufzeigen (gelbe Beschriftung) und andererseits das physikalische Modell einer Hochwasserentlastungsanlage, welches hier als Beispiel herangezogen wurde, charakterisieren (weiße Beschriftung). Gegenüber konventionellen Messmethoden führt der Einsatz von TLS zu einer deutlich umfangreicheren Datengrundlage bei dennoch überschaubarem Zeitaufwand.

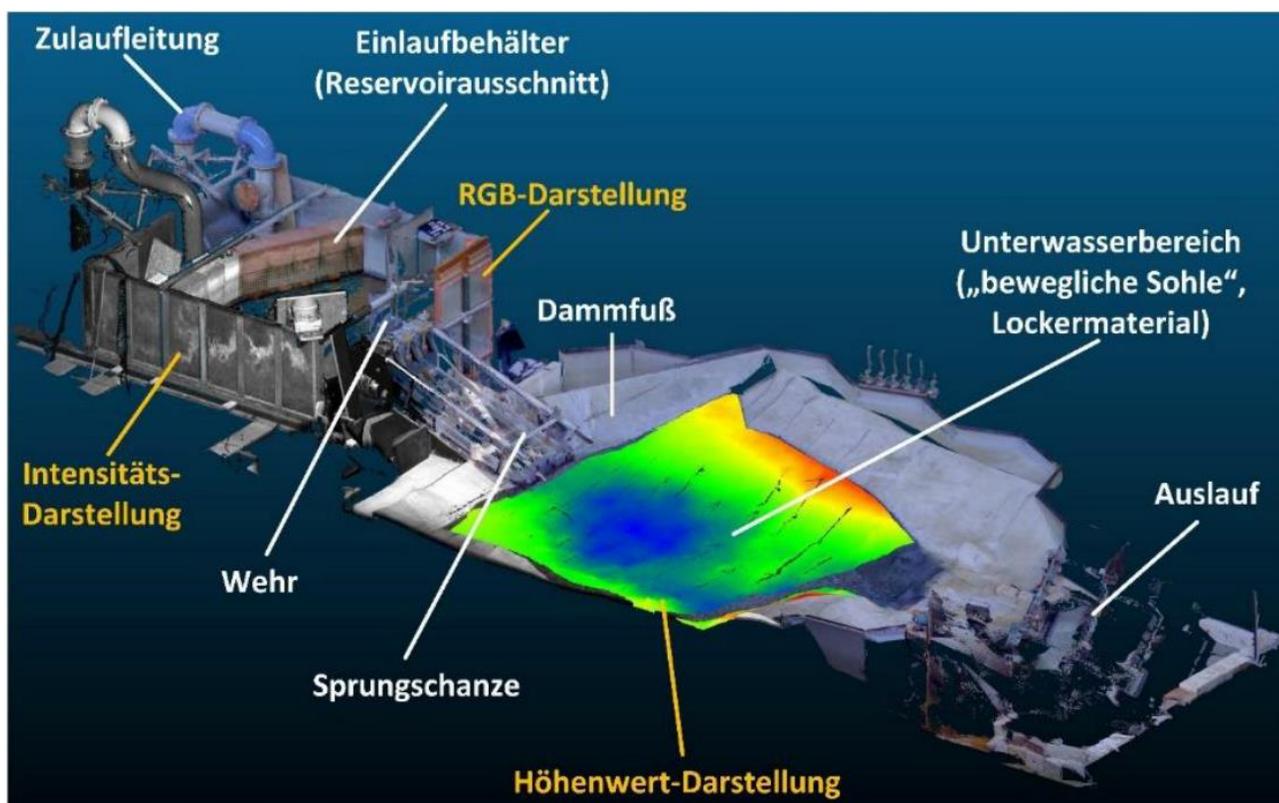


Abbildung 55: 3D-Punktwolke eines physikalischen Modells zur Untersuchung von Erosionsprozessen. Zur Veranschaulichung wurden bereichsweise unterschiedliche Einfärbungen verwendet: Intensitäts-, RGB- und Höhen-Werte (Regenbogen)

Der wesentliche Bestandteil des Versuchsaufbaus, welcher als zweites Beispiel dient, ist der offene Wasserbehälter, der durch mobile Hochwasserschutzelemente gebildet wird (siehe **Abbildung 56**). Im Zuge des Betriebs des Prüfstands und der Beurteilung der Gebrauchstauglichkeit der verwendeten Systemkomponenten stand auch eine mögliche Bauteilverformung im Fokus, da insbesondere die Anforderungen bezüglich der Dichtigkeit bei sich ändernden Belastungen zu beachten waren.

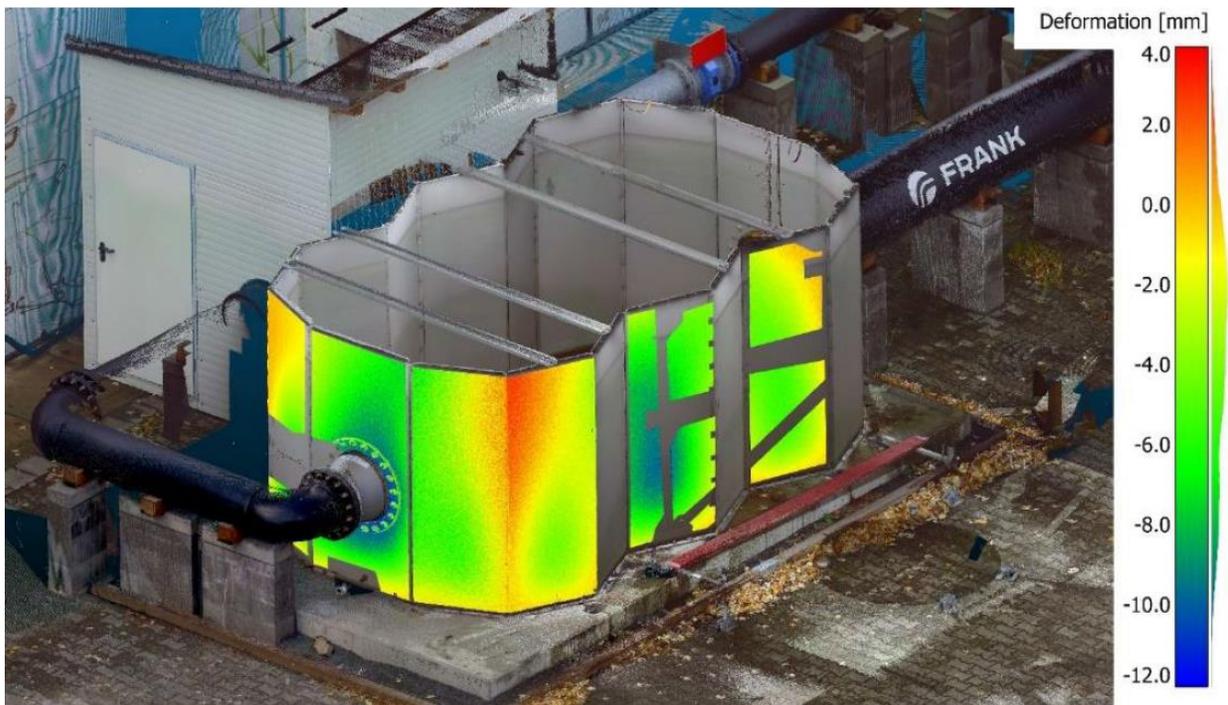


Abbildung 56: Wasserbehälter (Prüfbecken) mit farbcodierter Deformation aufgrund des Füllstandes

Mit dem TLS war es möglich, den Wassertank im leeren sowie im komplett mit Wasser gefüllten Zustand zu scannen. Diese beiden Aufnahmen erlauben eine Auswertung der Deformation der Tankaußenwände. Da in diesem Fall die Deformation senkrecht zur jeweiligen Tankaußenfläche von Interesse war, wurde die Punktwolke des leeren Zustandes zunächst trianguliert, so dass darauf basierend die Deformation in Normalenrichtung der triangulierten Ebenen berechnet werden konnte (Cloud-to-Mesh Distanz).

Das Endergebnis ist in **Abbildung 56** zu sehen. Hierbei zeigen positive Deformationen (rot) ins Innere des Tanks, negative Deformationen (grün-blau) nach außen und gelb-orangene Bereiche nahezu keine Deformation. Die erkennbaren Lücken in der Farbcodierung wurden durch ein Baugerüst verursacht, das aus Übersichtlichkeitsgründen aus **Abbildung 56** entfernt wurde. An der mittleren Seitenwand ist zu erkennen, dass im oberen Bereich keine Verstrebung mit der entgegengesetzten Seite vorhanden ist, dementsprechend entstehen hier auch größere Deformationen als an vergleichbaren Wandteilen.

Ausblick

Bei zahlreichen wasserbaulichen Anwendungen existiert ein deutliches Potenzial für den Einsatz von TLS-Messungen. Diese sind mit Fokus auf potenzielle Analysen ein wertvolles Werkzeug bei der Planung, Ausführung und der Überwachung.

Neben der umfangreichen digitalen Datenbasis ist insbesondere auch die Möglichkeit versuchsübergreifender Vergleiche, ohne Abhängigkeit von externer Infrastruktur hervorzuheben. D. h. es kann explizit festgestellt werden, wie sich Änderung an den Versuchsparametern auf die Kolkung bzw. die Kolkgeometrie auswirken.

Im Kontext von Bauteilverformungen lassen sich mittels TLS Messungen Rückschlüsse auf die tatsächliche Gebrauchstauglichkeit der Systemkomponenten ziehen, hier am Beispiel eines Wassertanks. Erst der Einsatz eines TLS ermöglicht die Erfassung von räumlich aufgelösten Deformationen mit vertretbarem Aufwand und bietet so das Potenzial das Verformungsverhalten der einzelnen Bauteile detailliert zu untersuchen.

Weiterer anvisierter Anknüpfungspunkt für zukünftige Anwendungen ist der Einsatz von TLS zur Erfassung von Sohllagen durch Wasseroberflächen hindurch sein. Diese Methodik soll als Forschungs- und Entwicklungsziel aufgegriffen werden.

Hochwasserschutz: Tiefrinnenversuche zur Bodenverflüssigung - Wasserbau-geotechnische Versuche an einem Deichmodell

Dr.-Ing. Jens-Uwe Wiesemann

Projektpartner: Grundwasserzentrum Dresden, GIP GmbH Dresden (Dr.-Ing. habil. T. Luckner)

GRUNDWASSER-ZENTRUM DRESDEN



GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung
GmbH Dresden
im Grundwasser-Zentrum Dresden

Hintergrund

Die GIP Grundwasser-Ingenieurbau-Planung GmbH Dresden hat ein FuE-Projekt zum Thema Bodenverflüssigung initiiert. Das Projekt ist als Nachfolgeprojekt zu einem bereits abgeschlossenen Forschungsprojekt ausgelegt worden und beinhaltet unter anderem die Durchführung wasserbaulich-geotechnischer Versuche an einem Deichmodell im halbtechnischen Maßstab, welches innerhalb der Tiefrinne des wasserbaulichen Forschungslabors aufgebaut ist (**Abbildung 57**).

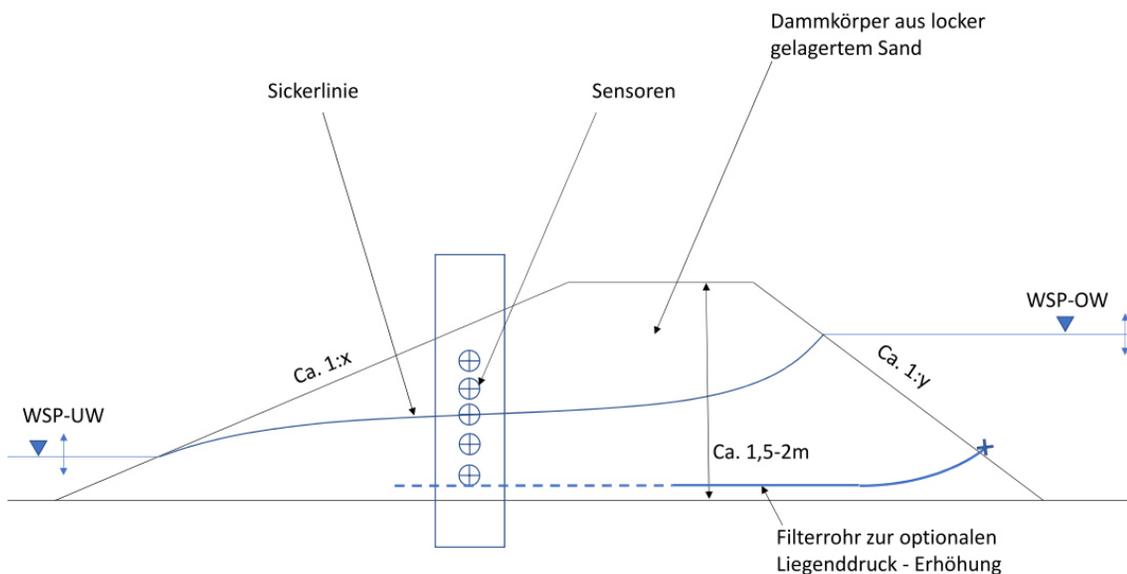


Abbildung 57: Skizze der in die Tiefrinne einzubauenden Dammkörper (Quelle: GIP)

Die Verifizierung eines bereits entwickelten Berechnungsmodells erfolgt an 2-dimensionalen Böschungsformen anhand von physikalischen Versuchen. Dazu sollen in der Versuchsrinne des Wasserbaulichen Forschungslabors der TU Darmstadt Modellversuche an einem Deichausschnitt durchgeführt werden. Die experimentell beobachteten Böschungs-/Bodenbewegungen der Modellversuche werden anschließend mit den berechneten Böschungs-/Bodenbewegungen bezüglich ihrer zeitlichen und örtlichen Zustandsänderungen verglichen. Das Ziel ist eine erfolgreiche Auswertung und Beurteilung des entwickelten Prognose- und Simulationstools zur Simulation von gravitativen Massenbewegungen infolge Bodenverflüssigung unter Berücksichtigung des thixotropen Verhaltens des Bodens.

Vorhabensbeschreibung: Wasserbaulich-geotechnische Versuche

An der TU Darmstadt ist eine für die Durchführung der physikalischen Versuche geeigneten Tiefrinne mit einer Tiefe von 3 m, einer Länge von 30 m und einer Breite von 0,75 m vorhanden. Diese eignete sich für morphodynamische Untersuchungen. Die Befüllung dieser Rinne ist vergleichsweise einfach vom Hallenboden aus möglich und die bereichsweise gegebene, seitliche Verglasung gewährleistet die visuelle Beobachtung der Massenumlagerungen während der Versuchsdurchläufe.



**Betonierte, vertikale Dichtwand
(in Tonschicht einbindend)**



Montage des Stützrahmens als Hinterbau für Messkasten



Platte mit Aussparung für die Sensormontage

Abbildung 58: Aufbau des Versuchsstandes in der Tiefrinne

Der Versuchsaufbau und die Versuchsdurchführungen im wasserbaulichen Forschungslabor sollen das realitätsnahe Verhalten teilweise wassergesättigter, locker gelagerter Granulate während der örtlichen Verflüssigung bestmöglich abbilden (**Abbildung 58**).

Um die relevanten Systemgrößen und die das Fließverhalten beschreibenden Parameter zu erfassen, ist eine sorgfältige Erstellung des Messkonzepts erforderlich. In der Planung müssen dabei, neben versuchslogistischer Anforderungen, auch die Befüllung, Vorbereitung (Aufbau der Schichten und gegebenenfalls teilweise Verdichtung) und Entnahme der entsprechenden Materialien aus der Versuchsanlage berücksichtigt werden. Die Befüllung und Vorbereitung muss dabei so erfolgen, dass die Bodenverhältnisse denen der Deichsysteme hinreichend genau entsprechen. Die entsprechend benötigte Sensorik wird von einem vorgelagerten FuE-Projekt übernommen und von der GIP bereitgestellt.

In der Tiefrinne des wasserbaulichen Forschungslabors der TUDa sollen Versuche mit jeweils eingebauten Deichkörpern durchgeführt werden. Im Rahmen der Versuche sollen die eingebauten Deiche bis zu einer teilweisen oder gar vollständigen Bodenverflüssigung hydraulisch belastet werden. Die dabei gewonnenen Daten sollen im Forschungsprojekt weiterverarbeitet werden, um bspw. numerische Prozesssimulationen kalibrieren oder validieren zu können.

Aus den Fachgebieten:

Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (Leitung: Prof. Schmalz)



Lehre

Abschlussarbeiten

Auch im vergangenen Jahr haben zahlreiche Studierende ihre Bachelor- oder Masterarbeiten am Fachgebiet ihwb geschrieben. Im Folgenden werden die im Zeitraum November 2019 bis Oktober 2020 abgeschlossenen Arbeitsthemen aufgelistet.

Bachelorarbeiten

- Analyse potentieller Quellen und Fließwege von Schwebstoffpartikeln in Oberflächengewässern im Einzugsgebiet des Fischbachs
- Durchführung und Auswertung einer ereignisbasierten Messkampagne zur Analyse des zeitlichen Verlaufs der Schwebstoffkonzentration über ein (Stark-) Regenereignis im Fischbach-Einzugsgebiet in Hessen
- Phosphorausträge aus landwirtschaftlichen Dränagen
- Entwicklung eines kostengünstigen Prototyps für ein Multi-Sensorsystem zur Überwachung der Gewässertemperatur
- Entwicklung eines Tools zur grafischen Darstellung der Abflusshysterese

Masterarbeiten

- Optimierung eines Niederschlag-Abfluss-Modells durch Erweiterung des auf Elementarflächen basierenden physikalischen Bodenfeuchteansatzes
- Test und Evaluation des 2D-Simulationsmodells IBER+ für die Analyse von Starkregengefahren in kleinen ländlichen Einzugsgebieten
- Bedeutung von Flächennutzungsänderungen für die Grundwasserneubildung im Kontext von numerischen Modellrechnungen zur regionalen Grundwasserbewirtschaftung
- Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdaten auf ökohydrologische Modellergebnisse am Beispiel des Fischbach-Einzugsgebietes in Hessen
- Schadstoffbelastung nach Starkregen unter Berücksichtigung flächenhaft differenzierter Konzentrationswerte
- Vergleich von Modellansätzen zur Berechnung von Oberflächenabflüssen mit Berücksichtigung des Kanalnetzes und Maßnahmen zum Überflutungsschutz
- Analyse von Niedrigwasser im Mittelgebirgseinzugsgebiet Gersprenz mithilfe des SWAT-Modells

Ein Teil der Abschlussarbeiten wurde in Kooperation mit folgenden Partnerinstitutionen angefertigt:

- BGS IT&E - Brandt Gerdes Sitzmann Information Technology & Engineering
- BGS Umwelt - Brandt Gerdes Sitzmann Umweltplanung GmbH
- Fischer Teamplan Ingenieurbüro GmbH
- HLNUG - Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie

Wir bedanken uns bei diesen Partnern für die interessanten Themen und die gute Zusammenarbeit.

Promotionen

Für das Fachgebiet ihwb sind Promotionsvorhaben von Amrei David, Paula Farina Grosser, Michael Kissel, Lidia Nersissian, Angela Rebscher und Dominik Scholand in Bearbeitung. Einige Inhalte sowie weitere Details dazu werden auf den Seiten 71-83 vorgestellt.

Frau Prof. Schmalz war darüber hinaus auch als Gutachterin in Dissertationen anderer Universitäten tätig. So hat Herr Muhammad Waseem im Juni 2020 seine Dissertationsschrift mit dem Titel „*Integrated Hydrological and Mass Balance Assessment in a German Lowland Catchment with a Coupled Hydrologic and Hydraulic Modelling*“ an der Agrar- und Umweltwissenschaftlichen Fakultät der Universität Rostock eingereicht. Darin beschäftigt sich Herr Waseem mit Wasser- und Nährstoffbilanzen in Oberflächengewässern und Grundwasser. Sein Untersuchungsgebiet war ein ländlich geprägtes Tieflandeinzugsgebiet in Mecklenburg-Vorpommern. Als Basis für zukünftige Strategien zur Verbesserung des Wasserqualitätsmanagements hat er sich mit der detaillierten Analyse der Grundwasser-Oberflächenwasser-Interaktion sowie Stickstoffbilanzen, v.a. Nitratfrachten beschäftigt. Weiterhin hat er verschiedene Modellansätze verglichen und angewendet und schließlich eine gekoppelte hydrologisch-hydraulische Modellierung zur integrierten Bewertung genutzt.

Ebenfalls 2020 hat Liang Yu ihre Dissertationsschrift zum Thema „*Groundwater-surface water interaction in urban lowland catchments – Water quality dynamics in the city of Amsterdam*“ an der Vrije Universiteit Amsterdam abgegeben. In ihrer Arbeit hat Frau Yu die Region Amsterdam, die für die Niederlande und die Nordseeküstenregion von großer Bedeutung ist, mit ihren besonderen hydrologischen Merkmalen analysiert, um ein Verständnis und Empfehlungen für ein zukunftsorientiertes, nachhaltiges Wasserqualitätsmanagement zu erarbeiten. Sie hat dazu Methoden der klassischen ländlichen Hydrologie auf urbane Systeme angewendet. Dabei wurde ein neuer Blickwinkel zur Erfassung von Nährstoffquellen und Fließwegen genutzt. So wurde z.B. die Bedeutung der Interaktion zwischen Grundwasser und Oberflächenwasser, von Algen und Sedimentgrenzflächen erkannt und in die Gesamtanalyse integriert.

Forschung

Hydrologisches Feldlabor des ihwb

Rückblick

Seit dem Jahr 2016 nutzt das Fachgebiet Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung (ihwb) das Gersprenz-Einzugsgebiet (485 km², hessischer Teil) mit dem Teileinzugsgebiet des Fischbaches (35,6 km²) als hydrologisches Untersuchungsgebiet, als sogenanntes Feldlabor (vergleiche Wasserjahre 2016 bis 2019). Feldlabore werden mit dem Ziel betrieben, das hydrologische Prozessverständnis zu erweitern, hydrologische Modelle zu testen, anzuwenden und zu entwickeln sowie die Auswirkungen von Klima- und Landnutzungswandel, Landmanagement und Wasserbewirtschaftung auf die Hydrologie abzubilden. Das ihwb arbeitet dazu mit Institutionen wie HLNUG, RP Darmstadt und dem Wasserverband Gersprenzgebiet sowie einzelnen Akteur*innen und Anwohner*innen vor Ort zusammen.

Messkonzept

Seit 2016 besteht ein ihwb-Messkonzept in dem ausgewählten Studiengebiet. Dazu erhebt das ihwb Messdaten, welche die bereits vorhandenen Landesdaten und Literaturwerte ergänzen. So wurden Sonden an den Gersprenz-Pegeln Wersau und Harreshausen installiert, um Wassertemperatur, Wasserstand und elektrische Leitfähigkeit kontinuierlich zu erfassen; in Harreshausen noch zusätzlich die Trübung. Das Monitoring in Wersau erfolgt seit 07/2017, in Harreshausen bedingt durch den Umbau des Landespegels erneut seit 01/2019.

Ein Schwerpunkt des ihwb-Messkonzepts bildet das Fischbach-Einzugsgebiet, in dem sowohl ein kontinuierliches Monitoring als auch wöchentliche Messungen durchgeführt werden. Auf dieser Teileinzugsgebietskala sind eine weitere räumliche Differenzierung und detailliertere Prozessstudien möglich. Die wöchentlich stattfindenden Kampagnen umfassen die Messung von Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Trübung an 13 ausgewählten Messstellen (**Abbildung 59**).

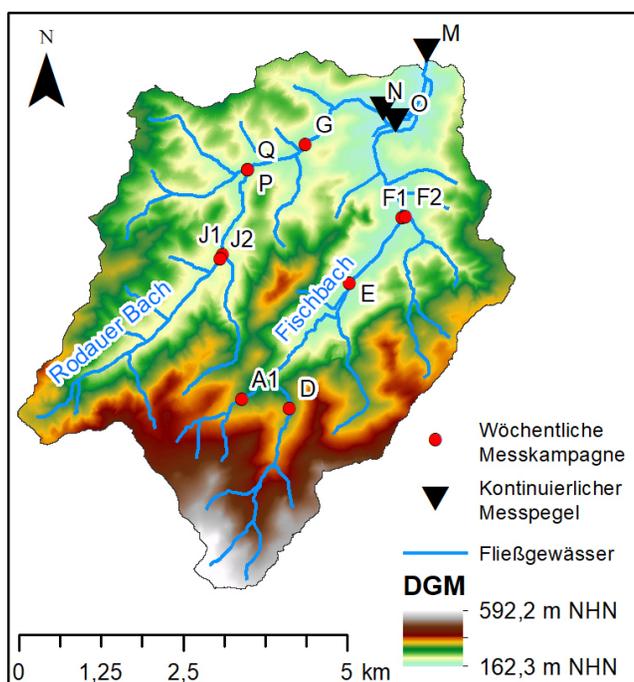


Abbildung 59: Messstellen der wöchentlichen Messkampagne im Fischbach-Einzugsgebiet (DGM: HVBG)

Fest installierte Sensoren am Pegel Groß-Bieberau 2 dienen der kontinuierlichen Erfassung von Wasserstand, Wassertemperatur und elektrischer Leitfähigkeit (seit Juni 2017) sowie pH-Wert, gesättigter Sauerstoffkonzentration und Trübung (seit April 2019) in 5-Minuten-Auflösung (**Abbildung 60**).



Abbildung 60: ihwb-Sensoren am Pegel Groß-Bieberau 2 (Foto: Romano 09/2020)

Im April 2020 wurde vom ihwb eine Wetterstation im Fischbach-Einzugsgebiet aufgestellt. Der Wasserverband Gersprenzgebiet hat dem ihwb freundlicherweise eine kleine Fläche am Hochwasserrückhaltebecken Herrensee (Fischbachtal-Niedernhausen) überlassen und die Errichtung dieser Wetterstation samt Schutzzaun gestattet, wofür wir uns ganz herzlich bedanken möchten. So können nun in 5-Minuten Auflösung Lufttemperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit, Windrichtung, Niederschlag und Sonnenstrahlung kontinuierlich erfasst werden (**Abbildung 61**).

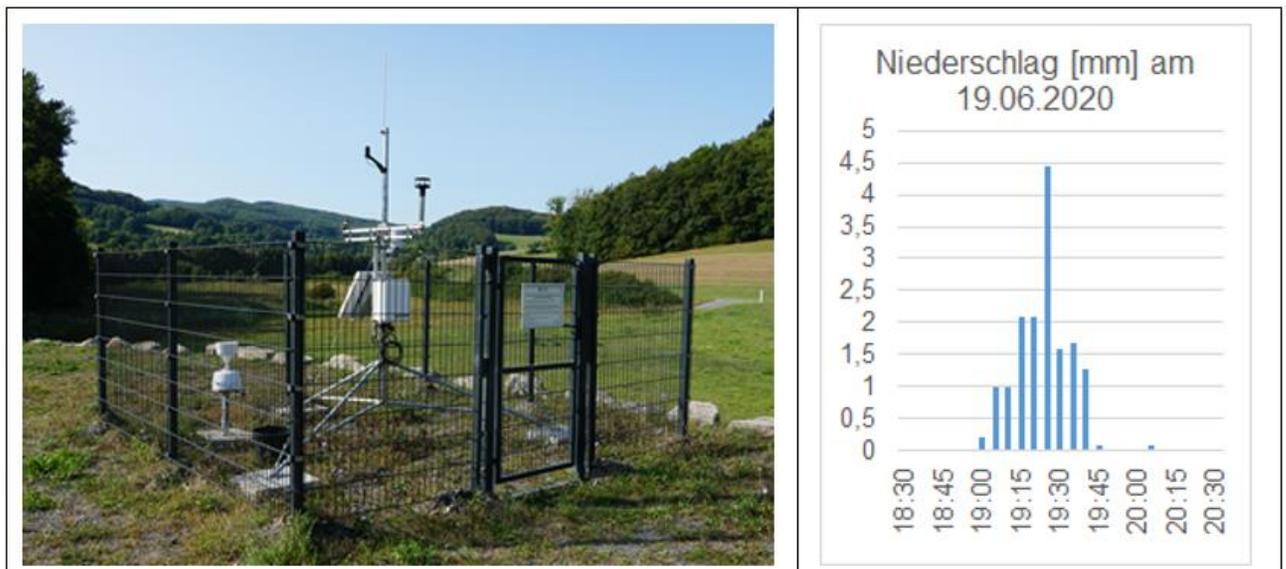


Abbildung 61: ihwb-Wetterstation am Herrensee: links: Standort (Foto: Romano 09/2020), rechts: Beispiel-Messdaten

Nutzung des Feldlabors für Promotions- und Abschlussarbeiten

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

Die thematischen Schwerpunkte der Promotionen liegen dabei auf:

- Abschätzung des Basisabflusses für die hydrologische Modellierung (Michael Kissel, vergleiche Seiten 71-72)
- Niedrigwasseranalyse (Paula Farina Grosser, vergleiche Seiten 73-75)
- Abflussbildung (Lidia Nersissian, vergleiche Seiten 75-76)
- Hydrologisch-hydraulische Modellierungsansätze zur Abbildung von Starkregenereignissen (Amrei David, vergleiche Seiten 77-79)
- Analyse von Bodenerosionsprozessen und Parametrisierung hydrologischer und hydraulischer Einflussgrößen in der Erosionsmodellierung (Angela Rebscher, vergleiche Seiten 79-81)
- Abschätzung des Erosionsgeschehens innerhalb von Einzugsgebieten durch Analyse der Schwebstoffdynamik in Fließgewässern (Dominik Scholand, vergleiche Seiten 82-83).

In einer weiteren Studie wurde das frei verfügbare InVEST-Modell Nutrient Delivery Ratio für die Abschätzung von Nährstoffexporten (Stickstoff und Phosphor) im Gersprenz-Einzugsgebiet und seinen Teileinzugsgebieten getestet (Marion Kruse, vergleiche Seite 84).

Vier Bachelor- und vier Masterarbeiten trugen durch ihre Auswertungen im Gersprenz-/Fischbach-Einzugsgebiet zu weiterem Erkenntnisgewinn bei (Zeitraum 12/2019-09/2020). An der Verbesserung von Messtechnik und Datenauswertung haben zwei Bachelorarbeiten mitgewirkt. In Bezug auf die Überwachung der Gewässertemperatur wurde ein kostengünstiger Prototyp für ein Multi-Sensorsystem entwickelt und getestet (Penzler, 2020). Für künftige Datenauswertungen in Bezug auf die Abflusshysterese wurde ein Tool zur grafischen Darstellung entwickelt (Richter, 2020). Verschiedene Modellsysteme zur Verbesserung der Prozessabbildung oder zur Beantwortung spezifischer Fragestellungen wurden in Masterarbeiten genutzt. So wurde ein Niederschlag-Abfluss-Modell durch Erweiterung des auf Elementarflächen basierenden physikalischen Bodenfeuchteansatzes optimiert (Reifschläger, 2019; Seiten 32-34). Andere hydrologische Modelle wurden eingesetzt, um den Einfluss unterschiedlicher Landnutzungsdaten auf ökohydrologische Modellergebnisse (Hofstetter, 2020; Seiten 26-28) zu untersuchen oder um Starkregengefahren (Hannappel, 2019) oder Niedrigwasser (Perschke, 2020; Seiten 29-32) zu analysieren. Ein weiterer Themenkomplex waren Schwebstoffe im Gewässer. Dazu wurden in Bachelorarbeiten potentielle Quellen und Fließwege von Schwebstoffpartikeln analysiert (Hofmann, 2020; Seiten 8-10) und eine ereignisbasierte Messkampagne zur Analyse des zeitlichen Verlaufs der Schwebstoffkonzentration über ein (Stark-) Regenereignis durchgeführt (Zhou, 2020).

Präsentation und Publikation der Forschungsergebnisse

Die Ergebnisse der oben genannten Forschungsaktivitäten wurden in zahlreichen Präsentationen des ihwb-Teams auf wissenschaftlichen Veranstaltungen vorgestellt. Neben einem Vortrag über das Erosionsgeschehen und die Schwebstoffdynamik und weiteren Posterpräsentationen auf dem DAWAKO 2020 wurde zudem ein Vortrag über Dürre und Niedrigwasser bei der Konferenz „Dürren in Mitteldeutschland – Auswirkungen, Herausforderungen, Anpassungsoptionen“ am 15.01.2020 in

Leipzig gehalten. Weitere schon eingereichte und angenommene Beiträge für den Tag der Hydrologie 2020 und die internationale ERB2020-Konferenz mussten corona-bedingt leider ausfallen.

Im Jahr 2020 sind zudem zwei Publikationen in internationalen Fachzeitschriften veröffentlicht worden. Zum einen wurde eine Analyse von Hochwassergefahren im kleinen Einzugsgebiet des Fischbachs durchgeführt. Dazu wurden verschiedene hydrologische und hydrodynamische Ansätze unter Verwendung von Direktniederschlägen auf ihre Eignung verglichen. Besonderes Augenmerk wird bezüglich der integrierten Herangehensweise auf die bei der Modelloptimierung und -kalibrierung auftretenden Schwierigkeiten gelegt.

- **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 2020; e12639: 26 p. DOI 10.1111/jfr3.12639.

Zum anderen wurden zur Ableitung einer plausiblen Basisabflussschätzung für die Mittelgebirgsregion verschiedene Ganglinienseparationsverfahren angewendet und verglichen. Dazu wurden Messdaten aus dem Fischbach-Einzugsgebiet genutzt und die Eignung der Methoden getestet. Die Ergebnisse führten zu einer Ableitung des Baseflow-Indexes (BFI) und zu Empfehlungen für die Anwendung im deutschen Mittelgebirge.

- **Kissel, M. & Schmalz, B. (2020): Comparison of baseflow separation methods in the German low mountain range.** Water 12, 1740. DOI 10.3390/w12061740.

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. Unser Dank gilt auch allen Anwohner*innen und Eigentümer*innen für die Möglichkeit, auf ihren Grundstücken Untersuchungen durchführen zu können.

Ergebnisse des Leitfähigkeits-Monitorings im Fischbach-Einzugsgebiet für die hydrologischen Jahre 2018 und 2019

Michael Kissel, M.Sc.

Im Rahmen der Forschungsaktivitäten am ihwb finden wöchentlich punktuelle Messungen der elektrischen Leitfähigkeit (EC) sowie kontinuierliche Messungen kurz vor dem Zusammenfluss des Rodauer Bachs und des Fischbachs und am Pegel Groß-Bieberau 2 statt. In diesem Beitrag werden die Ergebnisse des Monitorings, basierend auf Kissel & Schmalz (2020), kurz dargestellt.

Wöchentliches EC-Monitoring

An 13 Stationen finden seit Juni 2016 wöchentlich EC-Messungen statt (**Abbildung 59**). Von den Kopfgebieten (ab J1 und A1) zu dem Pegel an Station M steigt der EC-Wert an. Dabei zeigt sich, dass die EC-Werte des Rodauer Bachs bis Station N höher sind als die Werte des Fischbachs bis Station O. Die Messwerte an Station M liegen zwischen den Werten von N und O, siehe **Tabelle 3**.

Tabelle 3: Mittelwerte und Mediane der EC-Messwerte [$\mu\text{S}/\text{cm}$] von den Kopfgebieten bis zum Pegel an Station M von Juni 2017 bis Oktober 2019 (Kissel & Schmalz 2020)

	Rodauer Bach							Fischbach				
Station	J1	J2	P	Q	N	A1	D	E	F1	F2	O	M
Mean	308	319	313	408	372	299	197	245	264	275	331	363
Median	315	329	320	430	383	314	206	257	274	281	341	376

Die höchsten EC-Werte werden im Zeitraum Juni bis September und die niedrigsten Werte zwischen November und Mai registriert, weil in diesen Monaten der Durchfluss i.d.R. größer ist. Im Sommer wird an Station M eine EC im Bereich von 430 – 450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ während Trockenperioden erreicht, während im Winter und Frühling eine minimale EC von ca. 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen wurde.

Kontinuierliches EC-Monitoring

Die EC-Messung findet mit einer zeitlichen Auflösung von 5 Minuten statt. Für Station M werden diese auf 15-Minutenwerte gleichgewichtet aggregiert und anschließend mit den aus den Wasserständen berechneten Durchflüssen am Pegel abflussgewichtet zu Tageswerten aggregiert. An Station M wird seit Juni 2017 gemessen, während an Stationen N und O seit Juni 2018 Messungen stattfinden. An Station M wird im Sommer ein EC-Wert im Bereich von 410 – 440 $\mu\text{S}/\text{cm}$ während Trockenperioden verzeichnet und eine minimale EC von ca. 160 $\mu\text{S}/\text{cm}$ im Winter und Frühling. Allgemein stimmen die Ergebnisse aus dem wöchentlichen (EC_weekly_M) und kontinuierlichen Monitoring (EC_M) gut überein, siehe **Abbildung 62**.

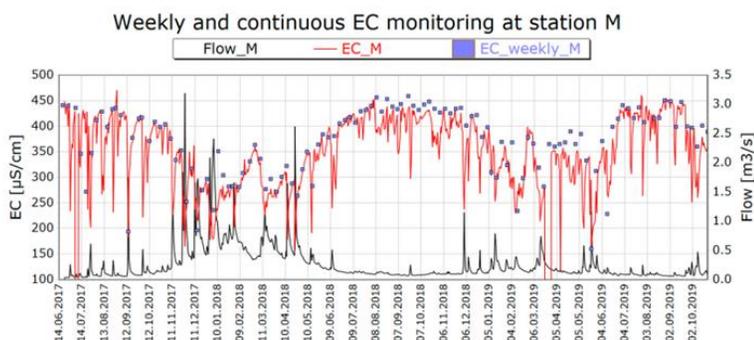


Abbildung 62: Vergleich von wöchentlichem und kontinuierlichem EC-Monitoring an Station M (Kissel & Schmalz 2020)

Zu beachten ist, dass es sich bei den wöchentlichen Messwerten um eine punktuelle Momentaufnahme handelt, während die kontinuierlichen Messwerte einen aggregierten Tageswert darstellen. Dennoch liegen die Werte in den Trockenperioden gut beieinander. Die größten Abweichungen treten bei Nassperioden auf, da hier die hohe Variabilität des Durchflusses den EC-Wert maßgeblich beeinflusst und das Minimum durch die wöchentliche Messkampagne eventuell nicht erfasst wird.

Vergleich der hydrologischen Jahre 2018 und 2019

Im Jahr 2018 wurden bei Durchflussspitzen EC-Werte im Bereich von 160 – 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$ gemessen. Oberhalb von 2 m^3/s verengt sich dieser Bereich auf 160 – 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. 2019 lagen die EC-Minima im Bereich von 170 – 230 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Die Durchflüsse 2019 waren jedoch deutlich geringer als 2018. 2019 wurde ein Maximum von 1,2 m^3/s gemessen, während 2018 das Maximum 3,2 m^3/s betrug, wodurch die zuvor beschriebene Verengung der Minima-Spannweite nicht beobachtet werden konnte. Die absoluten Minima liegen jedoch sehr nahe beieinander. Während Trockenperioden im Sommer sind EC-Plateaus zu erkennen, vgl. **Abbildung 63**. Diese liegen sowohl für 2018 und 2019 in einem ähnlichen Bereich, wobei die Plateaus 2019 etwas höher liegen. Die beschriebenen Unterschiede können auf den äußerst trockenen Sommer 2018 zurückgeführt werden. Obwohl der Winter 2017/2018 überdurchschnittlich nass war, bewirkte die langandauernde und heiße Trockenperiode eine rapide und drastische Absenkung der Grundwasserspiegel. Die Niederschläge im Winter 2018/2019 konnten das Defizit nicht ausgleichen und ein großer Teil des Wassers wurde im Einzugsgebiet gespeichert und kam nicht zum Abfluss. Hierdurch wurden im Winter 2018/2019 deutlich geringere Durchflüsse gemessen. Da der Sommer 2019 ebenfalls sehr trocken war, wurden auch in dieser Zeit etwas geringere Durchflüsse als 2018 gemessen, der EC-Wert hat sich hierdurch leicht erhöht.

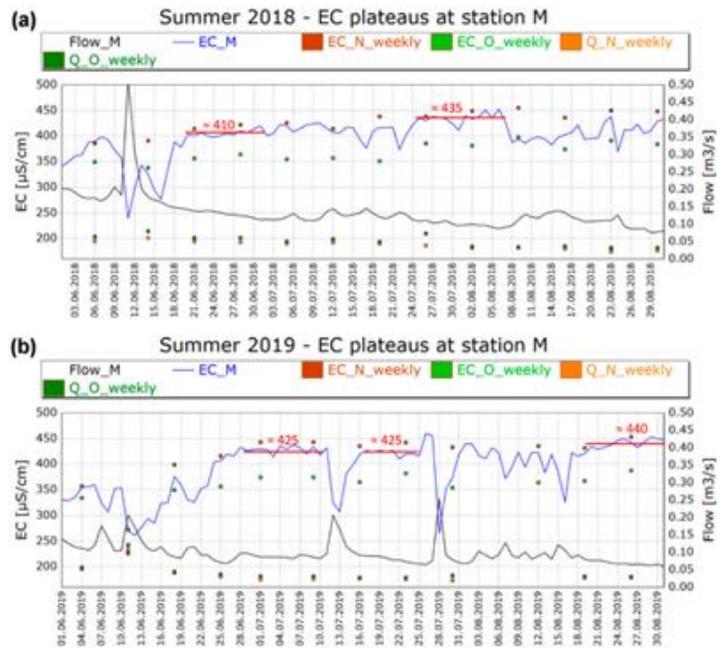


Abbildung 63: Vergleich der hydrologischen Jahre a) 2018 und b) 2019 (Kissel & Schmalz 2020)

Fazit

Wöchentliches und kontinuierliches EC-Monitoring kann bei hinreichend langen Zeiträumen ähnliche EC-Maxima und -Minima ermitteln. Unterschiede im Durchfluss zwischen den beiden hydrologischen Jahren lassen sich auf den nassen Winter 2017/2018 und den trockenen Sommer 2018 zurückführen, wobei die Unterschiede bezüglich der EC-Werte gering ausfallen.

Trendanalyse von Niedrigwasserkennwerten im Einzugsgebiet der Gersprenz

Paula Farina Grosser, M.Sc.

Niedrigwasser als hydrologisches Extrem beeinflusst maßgeblich die Wassermenge und -qualität in Fließgewässern. Die Folgen sind Beeinträchtigungen der Umwelt sowie des sozioökonomischen Bereiches. Um verfügbare Wasserressourcen angemessen zu verwalten, ist es wichtig, historische Niedrigwasserereignisse zu analysieren und zu bewerten. Langzeitmessdaten des Durchflusses ermöglichen die Beobachtung regionaler Trends und fördern ein besseres Verständnis komplexer Systemprozesse. Um das Niedrigwasserverhalten im Einzugsgebiet (EZG) der Gersprenz zu untersuchen, wurde eine Trendanalyse von Niedrigwasserkennwerten für den Zeitraum 1980 - 2018 durchgeführt. Grundlage bildeten Durchflussmessungen der Pegel Harreshausen (HRS) und Groß Bieberau 2 (GB).

Niedrigwasserdurchfluss kann durch die Unterschreitung eines bestimmten Schwellenwertes definiert werden. Die dabei angewendeten Schwellenwerte basieren auf den langjährigen Mittelwerten der niedrigsten Tages-, Wochen- oder Monatsdurchflüsse einer betrachteten Zeitreihe (NMxQ-Werte). Die Schwellenwerte für HRS und GB sind in **Tabelle 4** aufgeführt. Anhand der MNxQ-Werte ergeben sich die schwellenwertabhängigen Kennwerte SUMD und MAXD. SUMD ist die Gesamtzahl der Tage innerhalb eines Jahres mit Niedrigwasserdurchfluss, während MAXD die Dauer der Niedrigwasserperiode als maximale Anzahl an aufeinanderfolgenden Tagen mit Niedrigwasserdurchfluss beschreibt. Eine statistische Analyse der jährlichen Kennwerte wurde durchgeführt, um das Trendverhalten zu untersuchen:

Tabelle 4: Schwellenwerte zur Bestimmung von Niedrigwasser

	HRS	GB
MNQ	0,772 m ³ /s	0,093 m ³ /s
MN7Q	0,851 m ³ /s	0,102 m ³ /s
MN30Q	1,043 m ³ /s	0,118 m ³ /s

Hat der Niedrigwasserdurchfluss seit 1980 im Gersprenz Einzugsgebiet zugenommen?

Zur Untersuchung von Trends wurde die studentsche t-Verteilung bestimmt, nachdem eine Normalverteilung des jeweiligen Datensatzes mit dem Kolmogorov-Smirnov-Test bestätigt wurde. Die Prüfung der Nullhypothese erfolgte über eine lineare Regression. Die Signifikanz der Trends wurde mit einem Signifikanzniveau von 5% ($\alpha = 0,05$) bewertet. Alle NMxQ Werte wiesen signifikant negative Trends auf. Die Signifikanzen der Trends der schwellenwertabhängigen Kennwerte sowie die Gesamtzahlen von SUMD und MAXD sind in **Tabelle 5** jeweils für HRS und GB zusammengefasst.

Tabelle 5: Summe der schwellenwertabhängigen Kennwerte sowie die Signifikanz der Trends für den Zeitraum 1980 - 2018

HRS							GB					
	SUMD [d]			MAXD [d]			SUMD [d]			MAXD [d]		
Schwellenwert	MN Q	MN7 Q	MN30 Q	MN Q	MN7 Q	MN30 Q	MN Q	MN7 Q	MN30 Q	MN Q	MN7 Q	MN30 Q
Σ	765	1075	2103	279	359	646	1154	1652	2255	468	616	795
Trend	sig.	sig.	sig.	sig.	sig.	sig.	-	sig.	sig.	-	-	sig.

In Harreshausen wurden für alle Schwellenwerte signifikante Anstiege von SUMD und MAXD festgestellt. Das bedeutet, dass über die Jahre die Gesamtzahl an Tagen mit Niedrigwasser sowie die Länge

der Niedrigwasserperioden zugenommen hat. In GB wurde ein signifikanter Trend von SUMD nur mit MN7Q und MN30Q als Schwellenwerte identifiziert. Die Entwicklung von MAXD zeigte einen signifikant positiven Trend sogar erst ab einem Schwellenwert von MN30Q. Interessanterweise ist die Gesamtzahl der Niedrigwassertage in GB ca. 1,5-mal so hoch wie in HRS. Das bedeutet, dass in GB über den gesamten Zeitraum mehr Niedrigwasserphasen stattgefunden haben, diese aber nur in HRS über die Zeit signifikant zugenommen haben. Eine Analyse des CORINE-Landnutzungsdatensatzes ergab, dass zwischen 1990 und 2018 (Referenzjahr) im Untersuchungsgebiet keine signifikante Zunahme versiegelten Bodens stattfand: Der Anteil an Siedlungsflächen nahm nur um ca. 2% zu. Eine Diversifizierung der Landnutzung kann daher als Grund für die dargestellten Trends sehr wahrscheinlich ausgeschlossen werden, sodass meteorologische Faktoren als Haupteinflussvariablen verbleiben. Die signifikanten Erhöhungen der schwellenwertabhängigen Kennwerte SUMD und MAXD in HRS lassen sich anhand des beobachteten, signifikanten Anstiegs der Temperatur und der Abnahme des Niederschlags während des Beobachtungszeitraums plausibilisieren. Folglich weist der Niedrigwasserdurchfluss in HRS eine höhere Sensitivität gegenüber klimabedingter Variabilität auf als in GB. Dies wird auch durch die Tatsache unterstützt, dass das Verhältnis von MNQ und MQ in HRS niedriger ist als in GB. Das Verhältnis von MNQ und MQ kann als Indikator für die Speicherkapazität eines Einzugsgebiets sowie die Fluktuationen des Abflussregimes fungieren. Der Index liegt zwischen 0 und 1. Je höher der Wert, desto größer ist die Speicherkapazität des beobachteten Einzugsgebiets und desto weniger variabel ist das Abflussregime. Während MNQ/Q in HRS = 0,25 ist, entspricht das Verhältnis in GB = 0,28. Darüber hinaus war der Baseflow-Index (BFI) in GB mit 0,65 höher als in HRS (0,62). Diese Indizes implizieren eine höhere Empfindlichkeit von HRS gegenüber meteorologischen Extremen wie Dürren.

Wieso wurden in GB also über den gesamten Zeitraum eine höhere Summe an Niedrigwassertagen festgestellt? Das lässt sich mit einem Blick auf die Einzugsgebieteigenschaften erläutern. Während das Teileinzugsgebiet (TEZG) des Fischbachs im kristallinen Odenwald zu lokalisieren ist, verläuft das EZG der Gersprenz von der Quelle aus in Richtung Norden über das Reinheimer Hügelland bis zur Untermainebene. Das TEZG erstreckt sich zwischen Höhen von 157 bis 605 m, der tiefste Punkt des gesamten Gersprenz-EZGs liegt bei ca. 100 m (**Abbildung 64**).

Die topographischen Eigenschaften spiegeln sich auch in der Hangneigung wieder. Während im TEZG die mittlere Hangneigung 10,4% beträgt, erreicht die mittlere Hangneigung im gesamten EZG nur 6,2%. Das hat zur Folge, dass im TEZG das Wasser schneller abfließt. Im Fisch-

bachtal herrschen verschiedene Formen von Granit und Diorit vor, während Richtung Norden Böden aus Kies-, Sand- und Ton-Ablagerungen dominieren. Folglich

weisen die niederen Bereiche des EZG zusätzlich eine bessere Infiltrationskapazität auf. Auch die Gewässernetzdichte lässt auf eine bessere Infiltration im gesamten EZG gegenüber dem TEZG des Fischbachs schließen (**Abbildung 65**). Die Gewässernetzdichte wird durch die Durchlässigkeit des Untergrunds bestimmt und bietet die Möglichkeit, die Entwässerungskapazität eines Einzugsgebiets zu indizieren. Nicht zu vernachlässigen ist natürlich auch die Kapazität des Gewässers an sich. Während der Fischbach von einem durchschnittlichen Abfluss von $0,34 \text{ m}^3/\text{s}$ für den gesamten Beobachtungszeitraum von 39 Jahren gekennzeichnet war, betrug der durchschnittliche Abfluss in HRS $3,08 \text{ m}^3/\text{s}$.

Abbildung 65: Gewässernetzdichte ($[\text{km}/\text{km}^2]$; BfG 2020)

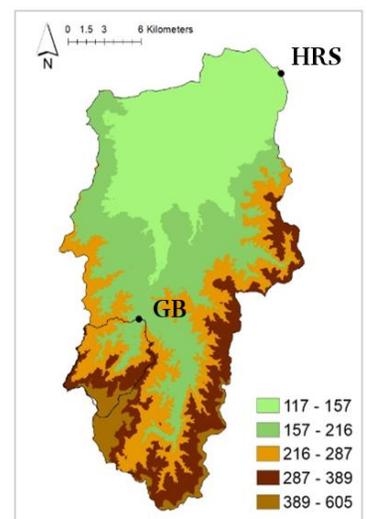
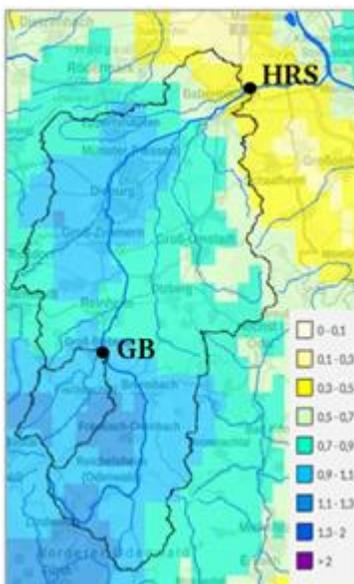


Abbildung 64: Topographie (Höhen in m NHN; HVBG)



Die Gersprenz ist als kleiner Fluss zu klassifizieren, wohingegen der Fischbach, wie

der Name besagt, zur Kategorie der Bäche gehört. Bei gleicher Verdunstungsrate sind die Verluste im Fischbach also prozentual höher anzusetzen als in der Gersprenz.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass insgesamt eine steigende Tendenz von Niedrigwasserereignissen im EZG der Gersprenz vorherrscht. Die Überlagerung von Einflussfaktoren führt zu komplexen Wirkungsketten. Nichtsdestotrotz lassen die Ergebnisse die Schlussfolgerung zu, dass Einzugsgebietsfaktoren und klimatologische Variabilität in verschiedenen EZGe unterschiedlich stark gewichtet sind. Das bedeutet, dass eine klimatische Trockenphase nicht notwendigerweise eine Niedrigwasserphase zur Folge hat und dass Einzugsgebieteigenschaften maßgeblich die Sensitivität des Niedrigwasserhaltens im Hinblick auf den Klimawandel bestimmen.

Untersuchung der Abflussbildungsprozesse im Fischbach-Einzugsgebiet

Lidia Nersissian, M.Sc.

Als Abflussprozesse sind alle hydrologischen Prozesse auf der Landoberfläche und im Boden zu verstehen, die als Summe den Abfluss in einem Fließgewässer bzw. Vorfluter im Einzugsgebiet bilden. Dabei werden drei Vorgänge unterschieden: Die Abflussbildung, die Abflusskonzentration und der Fließprozess im offenen Gerinne (**Abbildung 66**). Nach DIN 4049, Blatt 3 wird der Begriff Abflussbildung als die „Gesamtheit der Vorgänge, die in einem Einzugsgebiet zur Bildung des abflusswirksamen Niederschlags führen“, verstanden.

In der Wasserwirtschaft nimmt die Betrachtung der Abflussbildung einen immer größeren Stellenwert ein, da viele aktuelle Fragestellungen von Abflussbildungsprozessen abhängig sind. Zu diesen zählen:

- Formulierung von Prognosen für den Hochwasserschutz
- Feststellung von Auswirkungen bei der Wasserentnahme und Wasserversickerung
- Bewertung von Stoffverlagerung und -austragen
- Abschätzung der Auswirkungen von Änderungen der Landnutzung und von Bodenoberflächen (z.B. Aufforstung, Versiegelung, Verschlammung) auf die Abflussprozesse.

Um die Abflussbildungsprozesse besser zu verstehen, bedarf es einer tiefergehenden Untersuchung im Projektgebiet unseres Fachgebietes. Dafür wurde das Fischbach-Einzugsgebiet gewählt, für das eine gute Datengrundlage vorliegt. Eingeschlossen sind die seit April 2020 erhobenen Daten der ihwb-Wetterstation am Hochwasserrückhaltebecken Herrensee.

Nach Recherche geeigneter Methoden und Ansätze wurde zur Beschreibung der Abflussbildung das empirische SCS-Curve-Number Verfahren ausgewählt. Dabei liegt der Fokus auf die im DVWK (2003) gegebene Empfehlung für ein modifiziertes Curve-Number-Verfahren nach Kleeberg & Overland (1989). Als Grundlage wird eine Vielzahl von Eingangsparametern vorausgesetzt. Zu diesen aufwendig ermittelten Parametern zählen unter anderem die Bodeneigenschaften (Bodenart, Humusgehalt, Bodengefüge, Durchwurzelung, etc.), das Relief (Hangneigung, Hanglänge, Vorflut), die Landnutzung und die Bewirtschaftung. Unzureichende Standorteigenschaften und Bodenkenndaten sollen mit Hilfe von Geländeuntersuchungen gewonnen werden. Ferner sind Doppelringinfiltrometer-Versuche im Hinblick unterschiedlicher Landnutzung geplant.

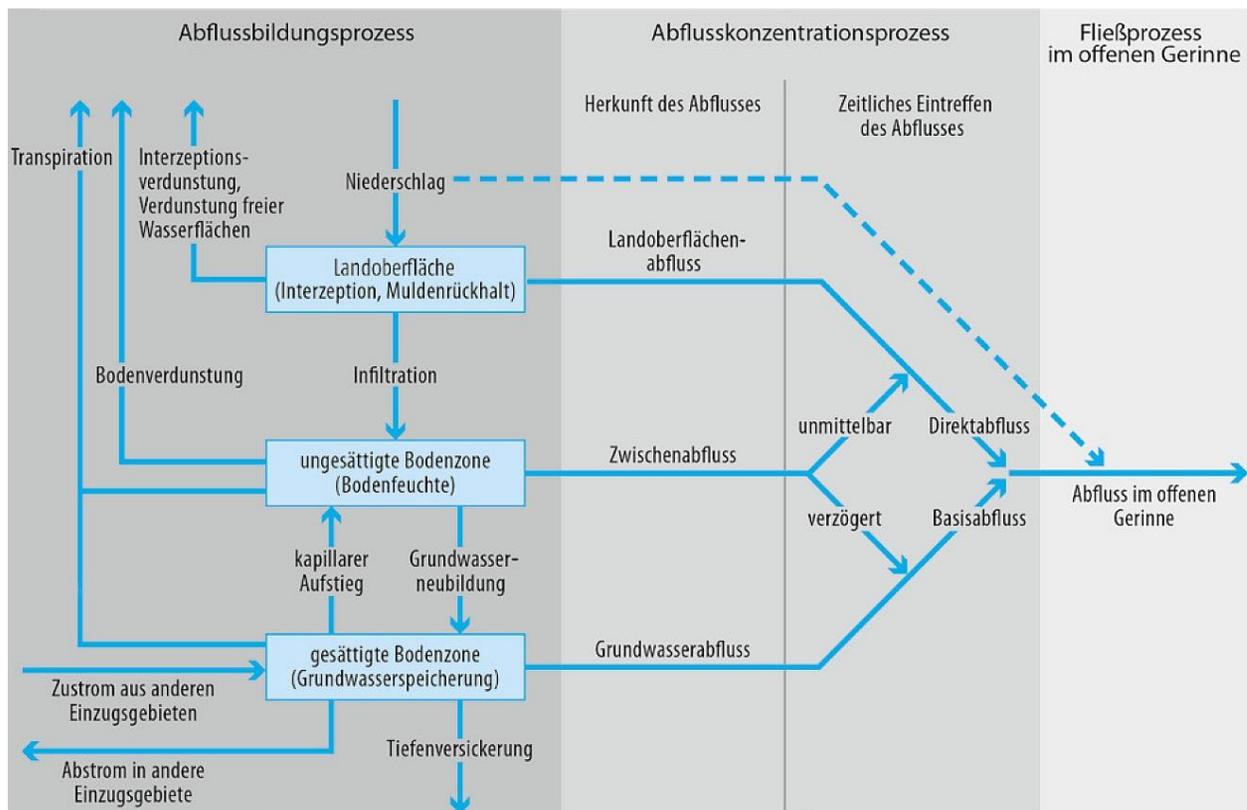


Abbildung 66: Schematische Darstellung des Abflussprozesses (Bronstert 2016)

Literatur

Bronstert, A. (2016): Abflussbildung in der Landschaft: 143-166. In: Fohrer et al. (Hrsg.): Hydrologie. UTB.

DIN 4049-3 (1994): Hydrologie – Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie. Beuth Verlag, Berlin

DVWK (Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.) (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.

Hydrologisch-hydraulische Modellierungsansätze zur Abbildung von Starkregenereignissen in kleinen ländlichen Einzugsgebieten

Amrei David, M.Sc.

Für die flächendifferenzierte Analyse von Starkregengefahren hat sich in den letzten Jahren der Ansatz der direkten Berechnung („Direct Rainfall Modeling“, DRM) bzw. die Verwendung der hydrodynamischen Niederschlags-Abflussmodelle („Hydrodynamic Rainfall-Runoff Model“, HDRRM) durchgesetzt. Die Modelle werden sowohl im (semi-) urbanen Bereich mit einer Kopplung des Kanalnetzes („dual drainage model“) oder im ländlichen Bereich zur Modellierung von Überflutungsflächen innerhalb einzelner Flussgebiete angewendet.

Es werden für die verschiedenen Anwendungsgebiete eigene Modelle entwickelt oder bestehende Modelle an die neue Nutzungsanforderung „Starkregen“ bzw. Simulation von Oberflächenabflüssen angepasst. Die Erfahrungen zeigen, dass die Analyse von Starkregengefahren anhand der vorgenannten 2D-Modelle prinzipiell möglich ist, jedoch noch Forschungsbedarf hinsichtlich der Optimierung der Rechenzeit, der eingesetzten Lösungsalgorithmen, der verwendeten Rauheitsansätze- und Wertebereiche sowie einer geeigneten Modellparametrisierung notwendig ist.

Ziel des Promotionsvorhabens ist es, bestehende 2D-Modelle, welche üblicherweise im Rahmen der Hochwassergefahrenmodellierung größerer Flussgebiete verwendet werden, für diesen neuen Anwendungsfall „Oberflächenabfluss“ sinnvoll parametrisiert anzuwenden und hinsichtlich der Eignung des Aufgabenfeldes Starkregengefahrenanalyse zu testen.

In einem ersten Schritt wurden für das Fischbach-Einzugsgebiet (Gesamtgröße 38 km² bis Gersprenz-Mündung) zwei Modellierungsansätze zur Starkregen- und Hochwassergefahrenanalyse vergleichend gegenübergestellt (vgl. dazu David & Schmalz 2020).

Für die Niederschlagsabflusssimulation einzelner beobachteter Starkregen und Hochwasserereignisse kam das hydrologische Modell HEC-HMS vom U.S. Army Corps of Engineers (USACE) zum Einsatz. Als 2D-Modell wurde HEC-RAS, ebenfalls vom USACE verwendet. Die vorerst ausgewerteten NA-Ereignisse wurden anhand der Abflussmessungen am Pegel Groß-Bieberau (HLNUG 2017) kalibriert und es wurden für die Methode der direkten Berechnung verschiedene Testfälle durchlaufen. Die Vorgehensweise der Modellerstellung, die Ergebnisse und Wertebereiche der durchgeführten Modellkalibrierungen wurden jeweils dokumentiert und anhand geeigneter Zielparameter ausgewertet.

Für die 2-stufige Modellierung werden in **Abbildung 67** die jeweiligen Modellbereiche der hydrologischen und hydrodynamischen Simulation gezeigt. Der Modellbereich der 1-stufigen Modellierung in HEC-RAS („direkte Berechnung“) ist in **Abbildung 68** zu sehen.

Ergebnisse und Diskussion

Die Anwendung der direkten Berechnung im Fischbach Einzugsgebiet hat gezeigt, dass sich die Modellierung von Oberflächenabflüssen prinzipiell anhand des Modellsystems HEC-RAS umsetzen lässt. Die 2-stufige Modellierung in Kombination mit der 2-stufigen Kalibrierung des hydrologischen und hydrodynamischen Modells liefert durchgängig eine bessere Übereinstimmung mit den Messwerten an der Pegelstation als die 1-stufige Modellierung. Die Kalibrierung der Modellergebnisse der letzteren hat gezeigt, dass andere Wertebereiche für die Rauheit der Flächen abseits des Gewässers als für das Gewässer selber angesetzt werden müssen. Ansonsten werden für die ausgewählten Ereignisse zu geringe Abflusskonzentrationszeiten ermittelt. Diese Ergebnisse decken sich mit den Angaben aus Rodriguez (2019), Downer & Ogden (2006) oder Engman (1986). Es sind weiterhin bei diesem Ansatz verschiedene Auffälligkeiten im Modellierungsprozess aufgetreten, die auf die geringen Wassertiefen des Oberflächenabflusses zurückzuführen sind. Dies betrifft beispielweise die Besonderheiten bei der Einbindung von Gebäuden ins Modellgebiet, die Sensitivität neuer Modellparameter, das Finden ge-

eigneter räumlicher Auflösung von Rechengitter und Geländemodell sowie die deutlich längeren Rechenzeiten. Die ausführliche Dokumentation der Ergebnisse ist unter David & Schmalz (2020) zu finden.

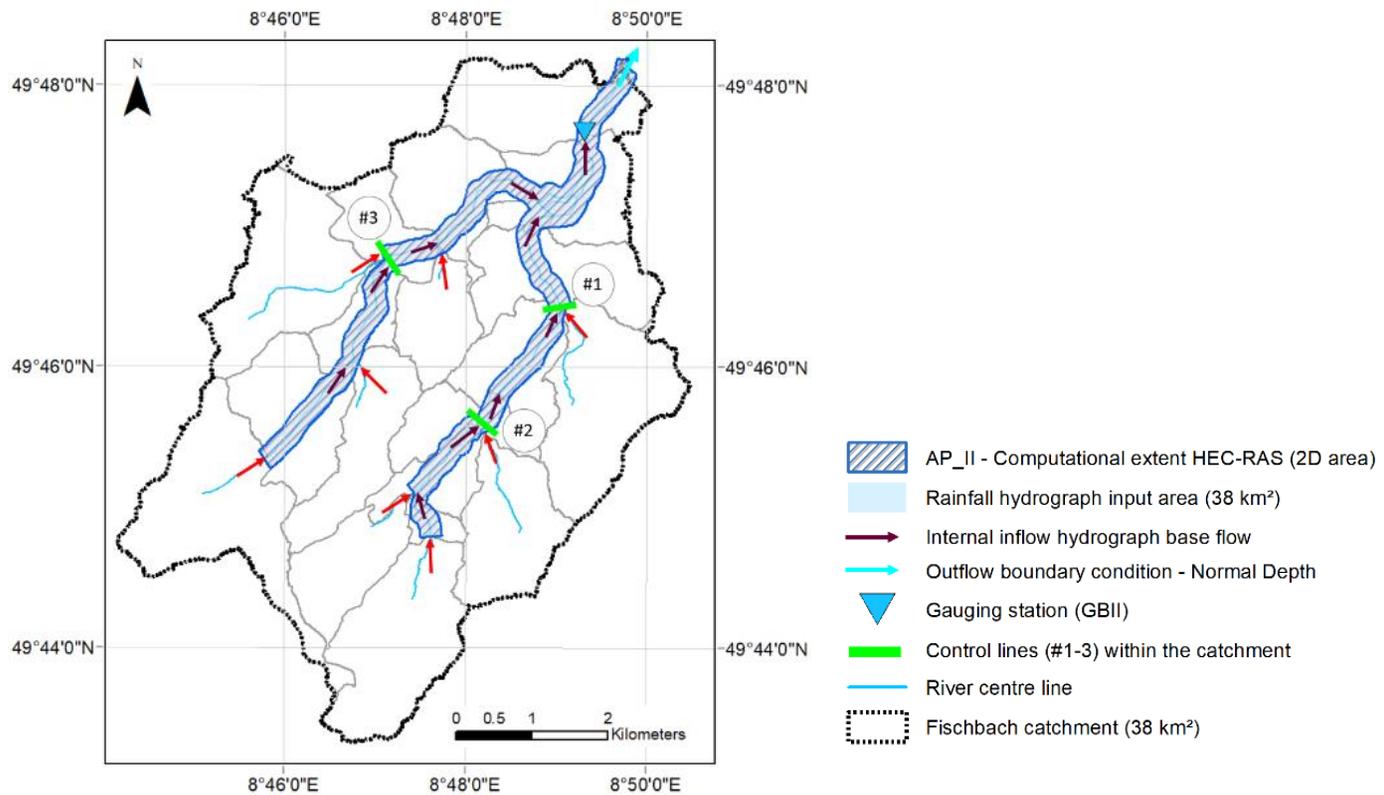


Abbildung 67: Modellbereich und Zuflüsse der hydrodynamischen Simulation und Teileinzugsgebiete HEC-HMS 1. Ansatz „2-stufige Modellierung“, Abbildung entnommen aus David & Schmalz (2020)

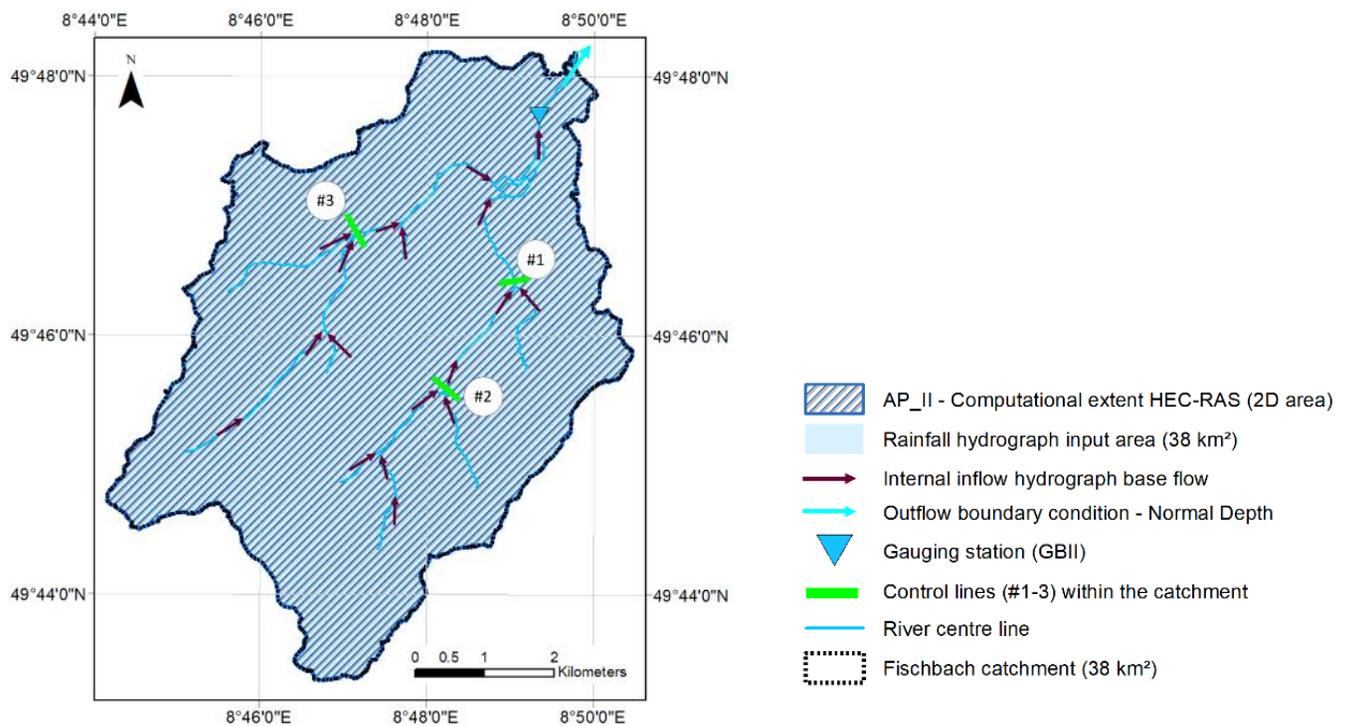


Abbildung 68: Modellbereich und Zuflüsse der hydrodynamischen Simulation 2. Ansatz „direkte Berechnung“, Abbildung entnommen aus David & Schmalz (2020)

Fazit und Ausblick

Das flächendifferenzierte Modell HEC-RAS wird für die Ermittlung von Fließwegen abseits des Gewässers in Folge von Starkregenereignissen als geeignet eingestuft. Das Modell liefert detaillierte Ergebnisse von Überschwemmungsflächen, Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten und ist in der Lage die Abflussdynamik des Einzugsgebietes abzubilden. Es wird empfohlen, das Modellverhalten des ursprünglich zur Berechnung von Wasserspiegellagen, Überschwemmungsflächen von Flusshochwässern, Damm- und Deichbrüchen etc. entwickelte Modell weiter hinsichtlich geeigneter Einstellungen und Modellparametrisierung in Zusammenhang mit der Anwendung „Starkregengefahren“ zu untersuchen.

Literatur

David, A. & Schmalz, B. (2020): Flood hazard analysis in small catchments: Comparison of hydrological and hydrodynamic approaches by the use of direct rainfall. *J. Flood Risk Manag.* 2020; e12639: 26 p. DOI 10.1111/jfr3.12639.

Downer, C. & Ogden, F. (2006): Gridded Surface Subsurface Hydrologic Analysis (GSSHA) User's Manual, Version 1.43 for Watershed Modeling System 6.1. U.S. Army Engineer Research and Development Center, Vicksburg, ERDC/CHL SR-06-1, Sep. 2006.

Engman, E. (1986): Roughness Coefficients for Routing Surface Runoff. *J. Irrig. Drain. Eng.* 112(1): 39–53. DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9437(1986)112:1(39).

HLNUG (2017): Discharge time series - Station: Groß-Bieberau 2; ID: 24761005. Hessisches Landesamt für Naturschutz, Umwelt und Geologie (HLNUG), Wiesbaden.

Rodriguez, E. (2019): Ansätze zur Berechnung des Dünnschichtabflusses bei Starkregen (Projekt KLIMPRAX Starkregen). DAWAKO, Darmstadt, Feb. 21, 2019.

Feld- und Laborversuche mit dem JET zur Parametrisierung der Erodibilität von Oberböden

Angela Rebscher, M.Sc.

Intensivierte Bodennutzung und klimatische Veränderungen führen zu einer Verstärkung von Bodenerosionsprozessen und den daraus resultierenden Schäden. Für Prognose und Bewertung von Bodenerosionsprozessen werden u.a. physikalisch-basierte, hydrologisch-hydraulisch Modellkonzepte eingesetzt. Die Sedimentkomponenten in diesen Modellen greifen typischerweise auf Gleichungsansätze basierend auf einem Schubspannungsüberschuss zurück. Dies sind im einfachsten Fall lineare Gleichungsansätze mit den Bodenparametern kritische Schubspannung und Erodibilität (Proportionalitätsfaktor), wobei die Parametrisierung üblicherweise durch Pedotransfer aus der Korngrößenverteilung erfolgt. Aufbauend auf theoretischen Betrachtungen zur Stabilität des Bodenkörpers lässt sich jedoch vermuten, dass eine Vielzahl weiterer Bodencharakteristika neben der Korngrößenverteilung die Bodenstabilität gegen Erosion bedingen.

Im Rahmen des Forschungsthemas wird die Abbildung der Widerstandseigenschaften kritische Schubspannung und Erodibilität in Modellen und im Laborversuch untersucht. Betrachtet wird hierbei

der Einfluss der von Bodencharakteristika wie Bodenfeuchte und Lagerungsdichte, welche in hydrologischen Modellkomponenten bereits genutzt werden.

Zur messtechnischen Bewertung wurde ein Messgerät in Laborgröße nach dem Prinzip des Jet Erosion Tests (JET) konstruiert. Dieses ermöglicht Messungen mit wenigen Stunden Laufzeit von ungestörten und gestörten Proben mit Volumen von ca. 1 dm³. Der JET erlaubt daher die Generierung einer soliden Datenbasis mit überschaubarem Aufwand. Es wurden Bodenproben von verschiedenen Testhängen im Feldlabor Fischbach-Einzugsgebiet in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften untersucht, wobei eine Fokusfläche mit besonders erosionsanfälligem Lössboden den Schwerpunkt der Untersuchung bildet, auf welcher zwei Messkampagnen mit Oberflächenproben durchgeführt wurden.

Einige Ergebnisse der ersten Messkampagne wurden bereits auf dem DAWAKO 2018 vorgestellt. Hier konnte bereits besonders der deutliche Einfluss der Bodenfeuchte und damit auch des Vorregens auf die Erosionsanfälligkeit gezeigt werden.

Die beiden durchgeführten Messkampagnen wurden aufgrund der Bewirtschaftung jeweils im Spätsommer durchgeführt, wobei die Witterungsbedingungen während der zweiten Kampagne im Sommer 2018 wesentlich trockener waren als während der ersten. Auf dem Testhang wurden sechs unterschiedliche Punkte entsprechend der Topographie festgelegt (**Abbildung 69**), bei denen aufgrund der Landschaftsentwicklung von unterschiedlichen Charakteristika der oberflächennahen Schicht ausgegangen wird (dies wurde mit Feld- und Laboranalysen bestätigt). Von jedem Punkt wurde (soweit technisch und erntebedingt möglich) jeweils eine gestörte Mischprobe und eine ungestörte Stechzylinderprobe genommen und mit dem JET ausgewertet.

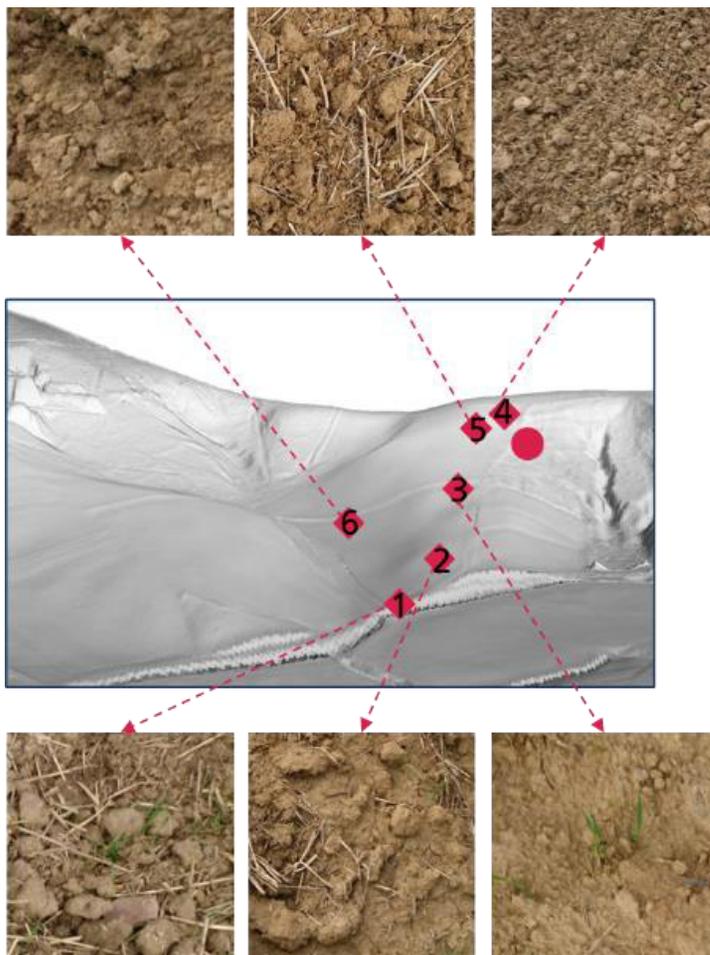


Abbildung 69: Lage der Probenahmestellen und charakteristische Oberflächenstruktur / Mikrotopographie

Mit der Auswertung der zweiten Kampagne kann nun insbesondere der Witterungseinfluss im zweiten Versuchsjahr betrachtet werden.

Wie in Kampagne 1 stellt auch in Kampagne 2 die gestörte Probe eine geeignete Annäherung an die Feldverhältnisse dar. Dies kann besonders gut in den Mittelwerten (große Symbole) über alle Proben einer Gruppe gesehen werden (**Abbildung 70**). Während jedoch für die gestörten Proben eine erhöhte Erosionsanfälligkeit bei der geringen Bodenfeuchte in Kampagne 2 deutlich sichtbar ist, ist der Unterschied für die ungestörten Proben gering, auch wenn die gleiche Tendenz erkennbar ist.

Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Unterschied durch Mikrotopographie und Wurzelreste entsteht, der in den Laborproben nicht reproduziert werden kann. Im weiteren Verlauf wird untersucht werden, wie die aus den Versuchen gewonnenen Erkenntnisse in die modellmäßige Nachbildung von Erosionsvorgängen Eingang finden können.

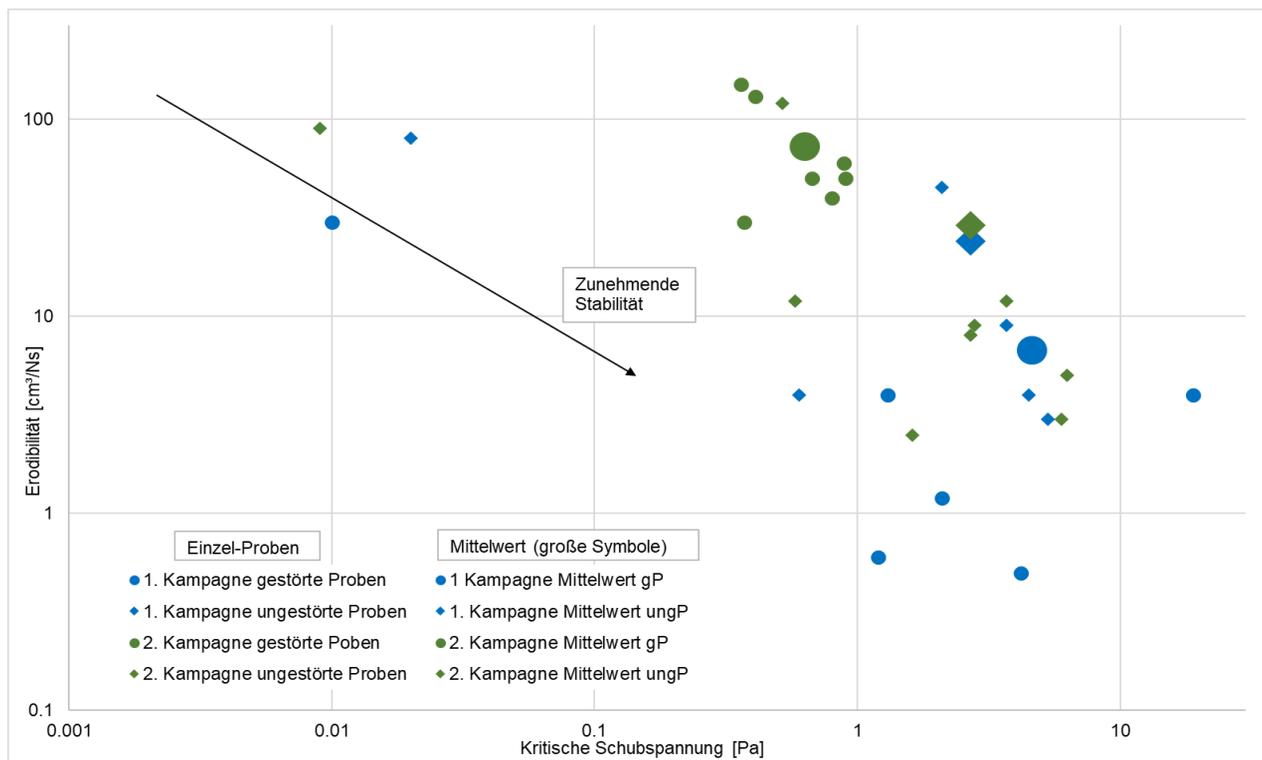


Abbildung 70: Auswertung JET-Versuche der ersten und zweiten Messkampagne für alle Probenahme-stellen (kleine Symbole) und Mittelwerte (große Symbole)

Verbesserte Abschätzung der Erosionsgefährdung auf landwirtschaftlichen Flächen mittels Analyse frei verfügbarer Fernerkundungsdaten

Dominik Scholand, M.Sc.

Mit der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) erfolgte im Jahr 2000 eine politische Neuausrichtung durch die flusseinzugsgebietsbasierte Betrachtung von Gewässerschutz und -bewirtschaftung. Mit dem Ziel der Förderung der nachhaltigen Nutzung der Wasserressourcen sowie dem Schutz und der Verbesserung des Zustands des aquatischen Ökosystems war ein umfassendes Gewässermonitoring notwendig, um das Erreichen bzw. die Einhaltung von Qualitätsparametern überprüfen und daraus entsprechende Maßnahmen für die Bewirtschaftungsperioden ableiten zu können. Eine Ursache für das Nicht-Erreichen der Ziele im Bereich der Gewässerqualität ist unter anderem der Eintrag von Bodenpartikeln in die Fließgewässer, die durch Bodenerosion von der Geländeoberfläche erodiert und in die Gewässer eingetragen werden. Die Partikel werden innerhalb der Gewässer in Abhängigkeit von den Korneigenschaften als Geschiebe, Schwimmstoffe oder Schwebstoffe transportiert, wobei der Übergang zwischen Geschiebe und Schwebstoffen fließend ist. Schwebstoffe machen in Fließgewässern den Hauptanteil aus und haben aufgrund von Erosions- und Verlandungsprozessen an Wasserstraßen und -bauwerken einen maßgeblichen Einfluss auf den Flussbau, den Hochwasserschutz sowie die energiewirtschaftliche Nutzung von Flüssen. Eine zusätzliche Beeinträchtigung der Gewässergüte und Ökologie durch erhöhte Schad- und Nährstoffbelastung resultiert unter anderem aus einer Adsorption von organischen und anorganischen Stoffen an den Schwebstoffpartikeln. Eine kontinuierliche Überwachung des Schwebstoffgehalts innerhalb der Fließgewässer ist daher notwendig, um jährliche Frachten und damit die Belastung der Gewässer abschätzen zu können.

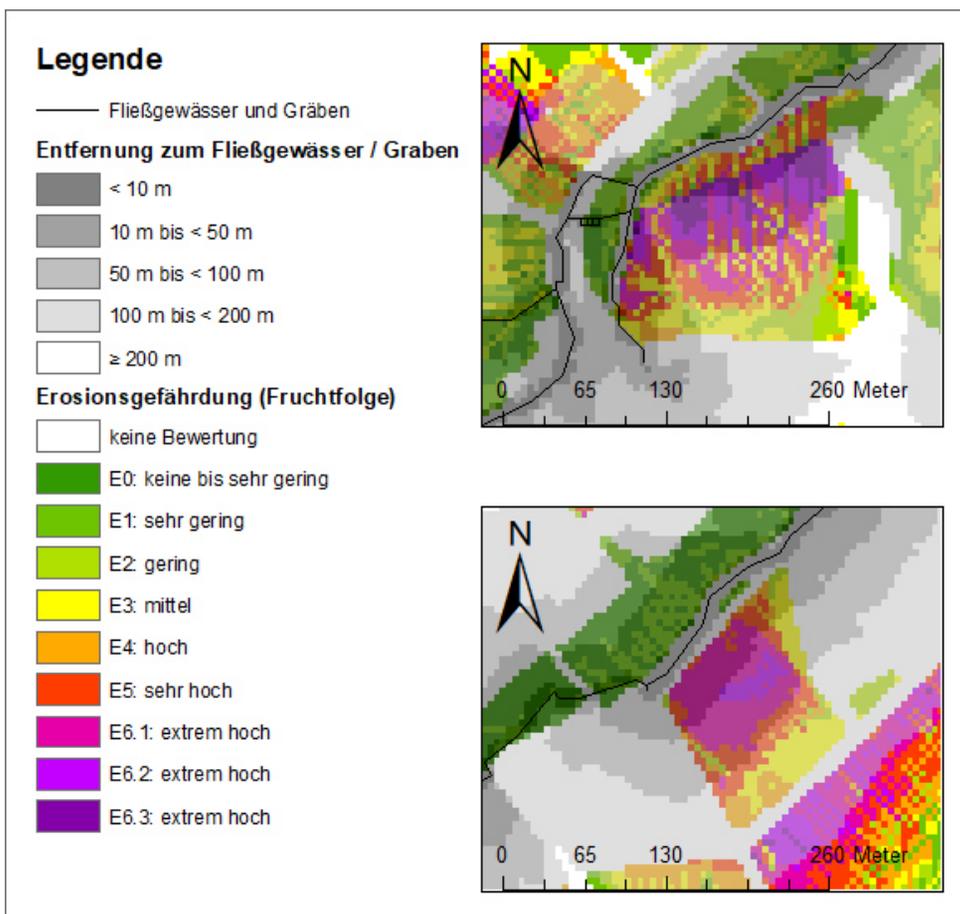


Abbildung 71: Detailansicht für Erosionsgefährdung von Ackerschlägen im Fischbach-Einzugsgebiet und deren Anschlussgrad an die Fließgewässer über die Fließweglänge (Hofmann 2020)

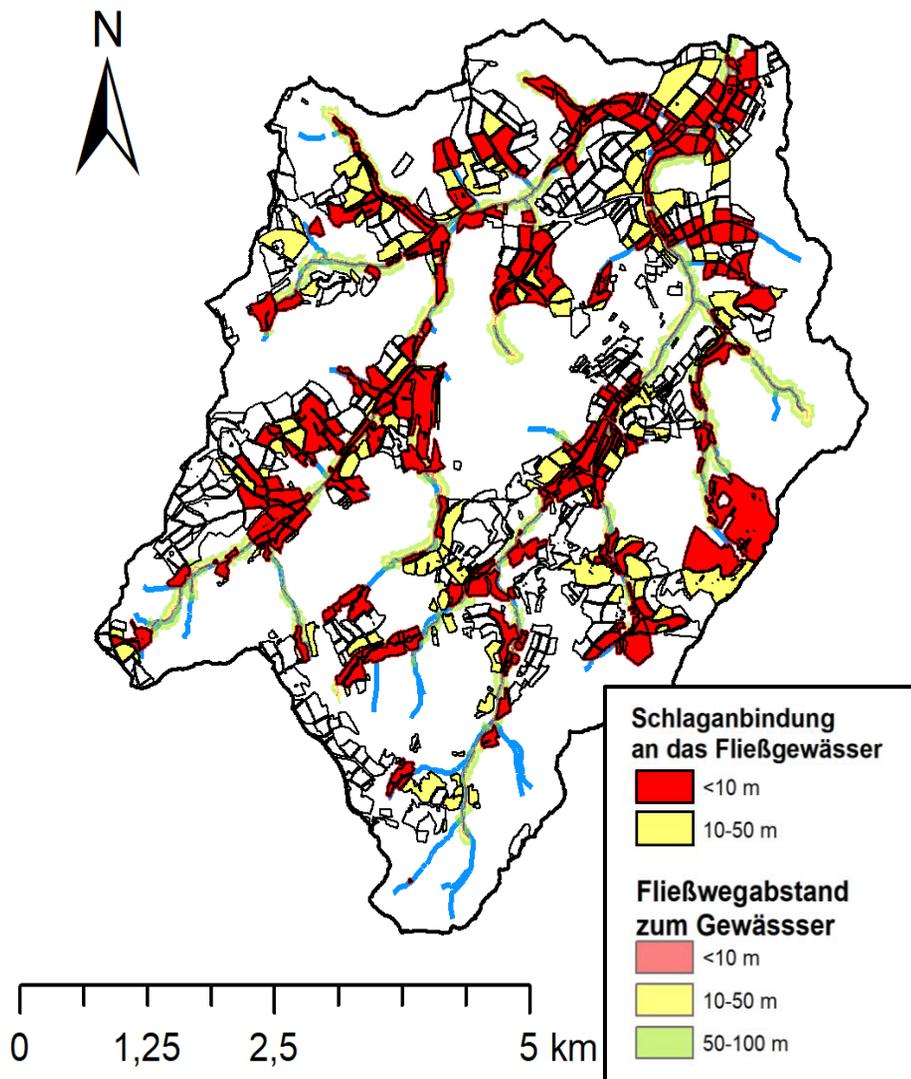


Abbildung 72: Schlägenbindung der Ackerschläge an die Fließgewässer im Fischbach-Einzugsgebiet (Hofmann 2020)

Für eine verbesserte Abschätzung der Erosionsgefährdung innerhalb der Einzugsgebiete können Quellen und Fließwege für Schwebstoffpartikel identifiziert werden. Insbesondere in ruralen Gebieten sind häufig Erosions- und damit verbundene Transportprozesse von landwirtschaftlichen Nutzflächen durch den Einfluss von Wind und Wasser ein maßgeblicher Faktor für den Eintrag von Schwebstoffen in die Fließgewässer. Die „Berücksichtigung der Bodenerosion durch Wasser“ wird im Rahmen der Maßnahmenplanung zur Umsetzung der EG-WRRL im DWA Merkblatt M 910 thematisiert. Bei der darin enthaltenen GIS-gestützten Raumanalyse erfolgt unter anderem eine Abschätzung der Erosionsgefährdung auf Ackerflächen, um Teilflächen mit einem bedeutenden Abtragspotenzial auf Grundlage der allgemeinen Bodenabtragungsgleichung (ABAG) zu identifizieren und entsprechende Schutzmaßnahmen zur Minderung der Erosion planen zu können.

Die Ergebnisse dieser Analyse können in Form von Karten mit kategorisierter Erosionsgefährdung sowie einem potentiellen Gewässeranschluss grafisch dargestellt werden. **Abbildung 71** zeigt die Ergebnisse der Erosionsgefährdungsanalyse für das Einzugsgebiet des Fischbachs bezogen auf die einzelnen Ackerschläge für eine typische Fruchtfolge (2011-2016). Entsprechend ihrer Fließwegentfernung zum Gewässer können die einzelnen Schläge nachfolgend nach Erosionsgefährdung und Anschlussgrad kategorisiert werden, um mögliche Erosions-Hotspots hervorzuheben (**Abbildung 72**). Die räumliche Analyse bedarf allerdings auch einer Überprüfung der Ergebnisse durch eine Begehung im Gelände.

Häufig unterscheiden sich die Abflussbedingungen vor Ort im Detail von den theoretischen Annahmen, die aus den Datensätzen abgeleitet worden sind und begünstigen oder behindern den Abtransport der Partikel aufgrund von Kanälen oder Fließhindernissen.

Die Form dieser Analyse ist auch übertragbar auf internationale landwirtschaftliche Anbauflächen mit anderen Nutzpflanzen sowie abweichenden klimatischen Bedingungen. Die Qualität der Ergebnisse ist jedoch immer abhängig von der Auflösung und Qualität der Eingangsdaten, die wiederum nicht weltweit im gleichen Detailgrad vorliegen. Bei der Bestimmung der empirischen Parameter der ABAG bzw. international USLE (Universal Soil Loss Equation) wird bei schlechter Datenlage auch die Unsicherheit für das Ergebnis vergrößert. Zwar ist insbesondere im Bereich der Fernerkundungsdaten ein deutlich besseres Angebot sowohl in der Quantität als auch der Qualität zu verzeichnen, jedoch sind die Daten für diese Skala nicht in der benötigten Auflösung kostenfrei verfügbar.

Das Ziel des Forschungsvorhabens liegt darin, die ursprüngliche Datenlage zur Bestimmung der Erodierbarkeitsfaktoren der ABAG bzw. USLE durch eine Bildanalyse frei verfügbarer, hochaufgelöster Fernerkundungsdaten sowie weiteren frei verfügbaren Geodaten zu ergänzen und dadurch die Analyseergebnisse zu verbessern. Neben der GIS-basierten Analyse sollen zudem kontinuierliche Trübungsaufzeichnungen am Gebietsauslass dazu genutzt werden, den Einfluss von unterschiedlichen hydrologischen und meteorologischen Einflussfaktoren auf Transportprozesse von Partikeln zu analysieren und das Prozessverständnis der Gebietskonnektivität auf unterschiedlichen Zeit- und Raumskalen weiterzuentwickeln.

Abschätzung von Nährstoffexporten im Gersprenz-Einzugsgebiet anhand des InVEST nutrient delivery ratio-Modells

Dr. Marion Kruse

Die Bewertung von Ökosystemen und Ökosystemleistungen ist ein wichtiger Aspekt für die Erfüllung der EU-weiten Biodiversitätsstrategie. Mit der neuen Biodiversitätsstrategie 2030 wurde der dringende Handlungsbedarf in einem langfristigen Plan veröffentlicht (EC 2020). In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Bewertungsstrategien in globalen Fallstudien entwickelt und angewendet, um die große Bedeutung von Ökosystemen und ihren Leistungen für die Gesellschaft und Wirtschaft anhand von vielschichtigen Methoden und Datensätzen zu bewerten. Dabei werden vergleichsweise einfache Methoden zur Bewertung als auch zur Kartendarstellung bis zu komplexeren Methoden unterschieden (z.B. von Expertenabschätzungen bis zu prozessbasierten Modellen) (Science for Environment Policy 2015).

Das Gersprenz-Einzugsgebiet ist von landwirtschaftlicher Nutzung geprägt, wodurch eine Vielzahl an Versorgungsleistungen bereitgestellt werden (u.a. Nahrungs- und Futtermittel). Diese stehen in direkter Verknüpfung zu den Regulierungsleistungen (u.a. Wasser- und Nährstoffregulierung; Erosionsregulierung). Das InVEST-Modell (Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoffs) (Natural Capital Project 2020) wurde insbesondere für die Bewertung von Szenarien aufgrund von Landnutzungsänderungen entwickelt. Somit können diese unterschiedlichen Szenarien verglichen werden, um eine Abschätzung der Effekte auf die Bereitstellung von Ökosystemleistungen zu ermöglichen. Dies ist für verschiedene Entscheidungsträger*innen von Bedeutung sowie für die wissenschaftliche und methodische Weiterentwicklung.

Die erste Anwendung des InVEST-Nährstoffmodells nutrient delivery ratio im Gersprenz-Einzugsgebiet, welches auf einem vereinfachten Nährstoffkreislauf sowie einer begrenzten Anzahl an Eingabedaten basiert, erfolgt anhand von Literaturwerten (value transfer). Basierend auf einem systematischen Review von internationalen Publikationen wurden vergleichbare Studien zusammengestellt. Für Deutschland liegen vergleichsweise wenige Studien für die Stickstoff- und Phosphorwerte und die Retentionseffizienz verschiedener Landnutzungsklassen vor (hier angewendet CORINE Landbedeckungsdaten für die Jahre 2012 / 2018). Dies birgt, wie in allen value-transfer-Studien, einen Unsicherheitsfaktor in den Ergebnissen. Im Hinblick auf die Modellergebnisse sind die Einflüsse der Landbedeckungsänderungen von 2012 zu 2018 geringer zu bewerten. Diese sind im Gersprenz-Einzugsgebiet basierend auf den CORINE-Daten (25 ha Auflösung) untergeordnet. Der Vergleich eines niederschlagsreichen und eines niederschlagsarmen Jahres resultiert in größeren Unterschieden der Stickstoff- und Phosphorwerte der 15 Teileinzugsgebiete. Weiterhin sind große regionale Unterschiede zu differenzieren. Diese liegen an den unterschiedlichen Anteilen von Grünland, Ackerland sowie Wald in den jeweiligen Teileinzugsgebieten.

Zukünftiger Forschungsbedarf besteht in der Verwendung von regionalen Nährstoffwerten für die im Untersuchungsgebiet vorkommenden Landbedeckungs- und -nutzungsklassen. Im Hinblick auf den Klimawandel und die Effekte auf Land- und Forstwirtschaft sind langfristige Modellierungen nötig.

Literatur

European Commission (EC) (2020): EU Biodiversity Strategy for 2030. https://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/strategy/index_en.htm (Zugriff am 20.10.2020)

Natural Capital Project (2020): InVEST. <https://naturalcapitalproject.stanford.edu/software/invest> (Zugriff am 20.10.2020)

Science for Environment Policy (2015): Ecosystem Services and the Environment. In-depth Report 11 produced for the European Commission, DG Environment by the Science Communication Unit, UWE, Bristol. https://ec.europa.eu/environment/integration/research/newsalert/pdf/ecosystem_services_biodiversity_IR11_en.pdf (Zugriff am 20.10.2020)

Internationale Forschung am ihwb



Auch im Jahr 2020 fanden zahlreiche internationale Forschungsk Kooperationen mit dem ihwb statt, auch wenn die Zusammenarbeit durch die Coronavirus-Pandemie sehr eingeschränkt war. Eine wichtige Säule in der Forschungsstrategie des ihwb ist weiterhin die Zusammenarbeit mit chinesischen Partnern. Die seit 2018 bewilligte Chinesisch-Deutsche Kooperationsgruppe „Risikomanagement von Wasserknappheit“ konnte die für 2020 geplanten Aktivitäten leider nicht verwirklichen. Ein in Nanjing, China, geplanter Workshop konnte aufgrund der Reiseverbote nicht durchgeführt werden. Auch zahlreiche, bereits angekündigte Reisen von deutschen Teilnehmer*innen nach China bzw. von chinesischen Teilnehmer*innen nach Deutschland mussten abgesagt werden. Nichtsdestotrotz wurde die Zeit genutzt, an gemeinsamen Publikationen oder Anträgen zu arbeiten. So sind beispielsweise sowohl ein gemeinsames Paper als auch ein gemeinsamer Forschungsantrag zwischen Prof. Schmalz, ihwb, und Prof. Zhang Qi, Nanjing Institute of Geography & Limnology of Chinese Academy of Sciences, in Vorbereitung. Aus dieser Kooperation stammt auch die Vernetzung zur Jiangxi Normal University, Nanchang, China. Mit Hilfe eines CSC Stipendiums (China Scholarship Council) konnte Frau Dr. Guihua Liu für ein Jahr, von November 2019 bis Oktober 2020 am ihwb forschen. Ihr Studiengebiet liegt im Einzugsgebiet des Poyang-Sees, dem größten Süßwassersee in China. Dort hat Prof. Schmalz in der Vergangenheit bereits selber Feldaufenthalte und Studien durchgeführt, so dass hier enge Verknüpfungspunkte vorliegen. Die für diese Studie ausgewählte Teilregion ist gekennzeichnet durch einen erheblichen Landnutzungswechsel, der in einer Umwandlung von Mischwald in Orangenplantagen bestand. Ein Bericht dazu findet sich auf den Seiten 86-89. Wir freuen uns, dass wir Frau Liu am ihwb integrieren konnten und hoffen, dass weitere Kooperationen daraus entstehen.

Bereits im Jahr 2019 war Frau Roberta D'Ambrosio, M.Sc., von der Universität von Salerno, Italien, im Rahmen ihres Promotionsvorhabens für fünf Monate am ihwb. Die Kooperation wurde auch in 2020 fortgesetzt. Daraus sind beispielsweise zwei gemeinsame Beiträge auf Konferenzen entstanden, die aufgrund der Coronavirus-Pandemie online stattgefunden haben: Auf der EGU (European Geosciences Union) Sharing Geoscience Online (04.-08.05.2020) wurde mit einer Online-Präsentation sowie auf dem EO for Water Cycle Science 2020 virtual event (16.-19.11.2020) mit einer e-Poster-Präsentation beigetragen. Details finden sich auf den Seiten 89-92. Wir wünschen Frau D'Ambrosio viel Erfolg bei der erfolgreichen Fertigstellung ihrer Promotion.

Seit diesem Jahr ist auch Frau Mahshid Khazaei, M.Eng., Teil des ihwb-Teams. Sie hat ihren Masterabschluss in Agriculture Engineering - Water Resources Engineering an der Universität von Urmia, Iran, erhalten. Bereits in ihrer Masterthesis hatte sie sich mit der Untersuchung der Beziehung zwischen den physikalischen Eigenschaften von Flusseinzugsgebieten und der Nichtlinearität von Abflussprozessen beschäftigt. Dies möchte sie nun in ihrem Promotionsvorhaben fortsetzen. Aufgrund von Problemen mit dem Visum und den Reise-Einschränkungen durch die Coronavirus-Pandemie ist sie derzeit noch im Iran.

Im Oktober 2020 hat Herr Dr. Julius Kollongei von der Universität in Eldoret, Kenia, eine Bewilligung für das beantragte Georg Forster-Forschungsstipendium für erfahrene Wissenschaftler der Alexander von Humboldt-Stiftung bekommen. Dr. Kollongei wird im Bereich "Eco-Hydrological Functioning of a Riverine System in a Changing Catchment and Climate Context" forschen. Er wird sich mit den Herausforderungen des Wasserqualitätsmanagements kenianischer Flüsse beschäftigen, wobei sein Schwerpunkt in einem Einzugsgebiet liegt, das in den Lake Victoria entwässert.

Impact of land use change on runoff and sediment in the red soil hilly region using SWAT (Soil and Water Assessment Tool) model: A case study in Southern China

Dr. Guihua Liu, Key Laboratory of Poyang Lake Wetland and Watershed Research, Ministry of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang, China

The study area. The impacts of land use and land cover changes on runoff and sediment are important issues to the watershed. In the red soil hilly region of southern Jiangxi province, China, there is a special landscape of "Green hill in the distance, water losses and soil erosion at a near look" due to the dual influence of natural and human activities (**Abbildung 73**). The Xunwu watershed (24°30'N-25°15'N, 115°20'E-115°60'E) is the main source of the Dongjiang watershed which is the main tributary of the Pearl River, the second largest river in China according to flow (**Abbildung 74**). The hydrological station of Shuibei station monitors a drainage area of 995km² and river length of 86km. Soil types in Xunwu basin are mainly red soil and yellow-red soil accounting for about 79% based on the soil map. The organic matter content of red soil is about 1% - 5%. The soil is sticky and the water permeability is poor. The land use types are dominated by forest and orchards but also farmlands, construction lands and water bodies. The climate belongs to south Asia mild and humid subtropical climate. Annual rainfall is 1600mm. It is unevenly distributed through the year and is concentrated in March to September, accounting for about 81% of the annual rainfall. Annual temperature is 19.2°C, with an extreme maximum temperature of 38.3°C and extreme minimum temperature of -5.3°C.



Abbildung 73: The distant and close views of the forest and orchard in the study area

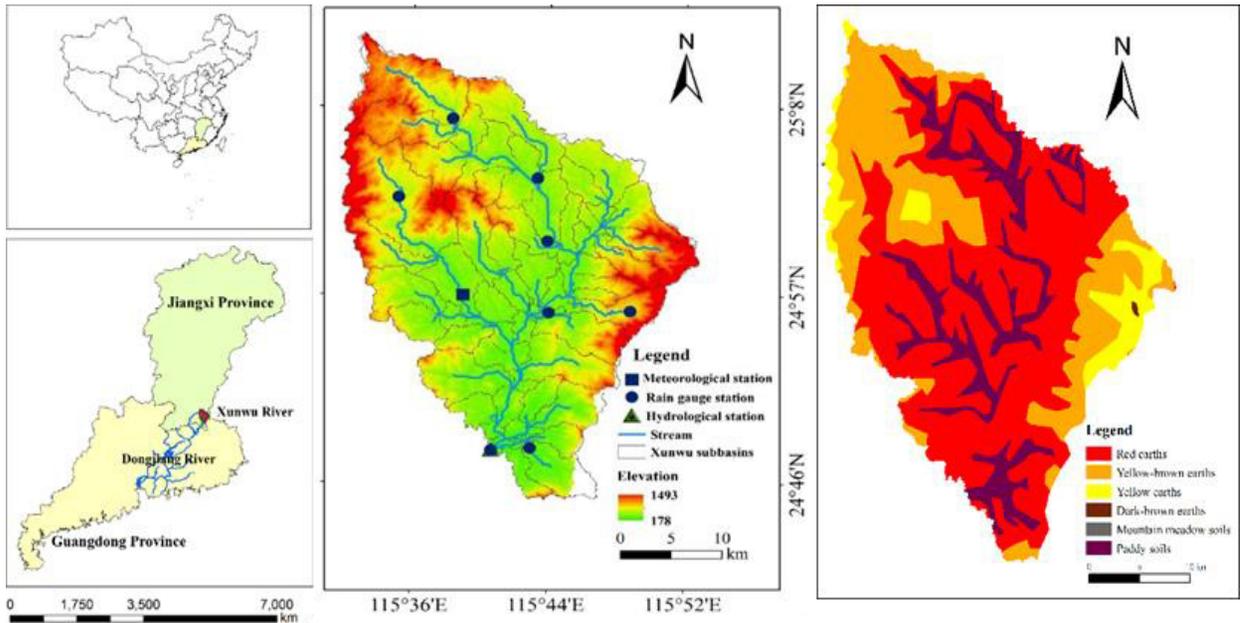


Abbildung 74: The study area, including climate stations, rain gauge stations, hydrological stations and subbasins, and the corresponding soil map

In addition, the area is subject to extensive human activities and substantial changes in land cover. One of the more significant activities is the orchard development (**Abbildung 75** und **Abbildung 76**). The orchard area increased from 1.2% to 43.1%, while the forest area decreased from 82.0% to 42.9%. The orchard plantation mainly refers to the citrus trees, including navel orange, tangerine, and grapefruit, etc., which navel oranges are absolutely dominant in the Xunwu river watershed. Gannan navel oranges are well-known at home and abroad due to the good taste and appearance. The phenomenon of large-scale conversion of forest land to orchard in a short term is very uncommon and it would have an important impact on the hydrological processes.



Abbildung 75: A general orchard exploitation process in red soil hilly area of southern China, (a) Removing native land covers (mainly forest), (b) Bare land before orchard plantation, (c) Newly planted orchard tree seedlings, (d) One-year-old orchard tree, (e) Two-year-old orchard tree, (f) Three-year-old orchard tree with fruit, and (g) Mature orchard (four- or more than four-year-old, with only slight soil erosion)

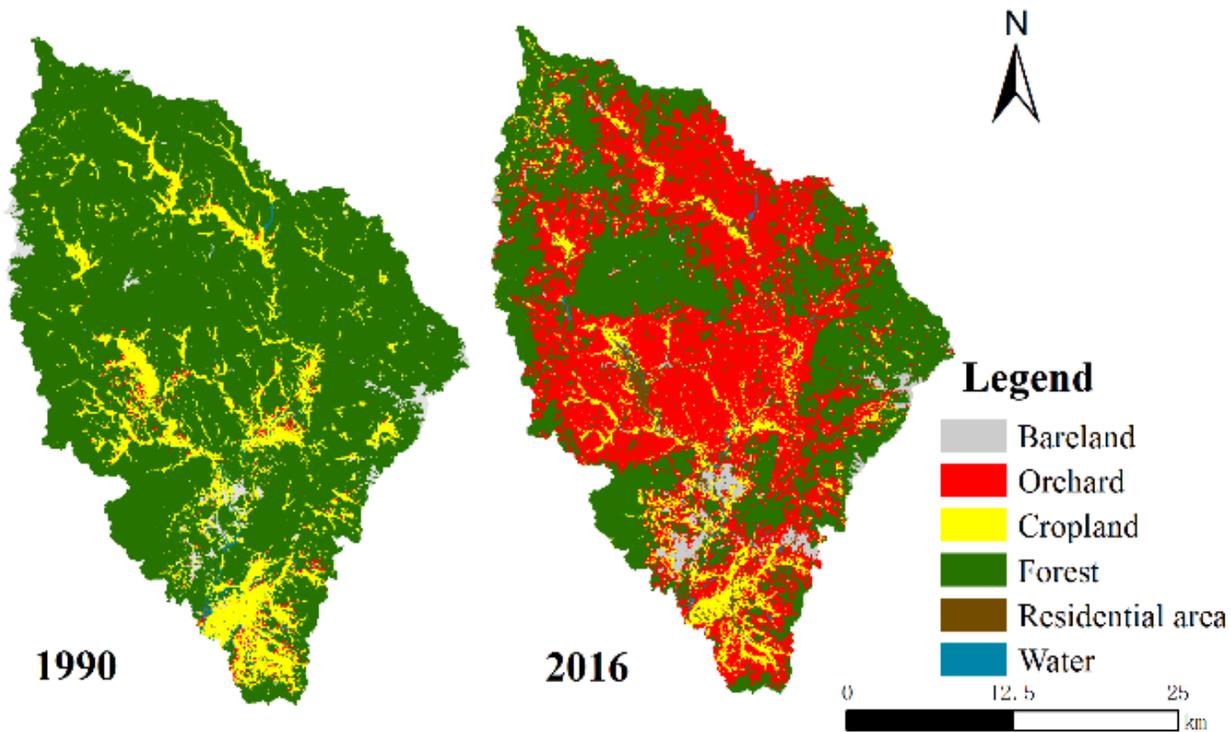


Abbildung 76: Land use changes from 1990 to 2016

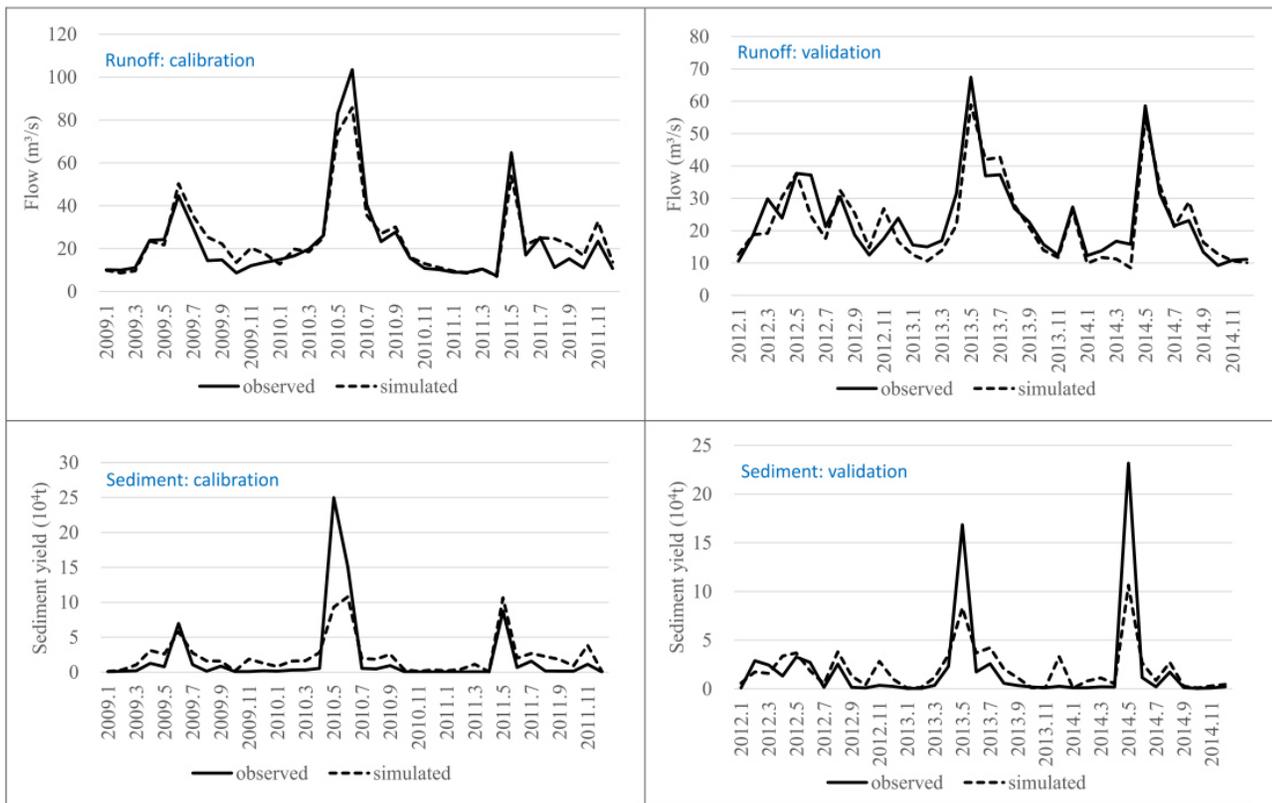


Abbildung 77: Temporal variability of observed and simulated monthly streamflow and sediment during 2009-2014

Methods and results. The SWAT model is a semi-distributed hydrological model developed by the United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service (USDA-ARS) and operates on daily time steps. It can predict the impact of land use change and human activities on hydrological

cycle, sediment transport, and agricultural pollutants due to different soil types and diverse management conditions. The data involved in the SWAT model includes spatial data, such as Digital Elevation Model (DEM), land use and soil data, with 30 m resolution. Additionally, daily climate, runoff and sediment data comprise parts or the whole period of 1980-2018. The coefficient of determination (R^2), Nash-Sutcliffe efficiency (NS) and percent bias (PBIAS) were selected to evaluate the model performance. The period of 2009-2011 and 2012-2014 were used for model calibration and validation, and 2008 was model warm-up period.

According to the results (**Tabelle 6**), the SWAT model was suitable for runoff and sediment yield simulation in the Xunwu river watershed (**Abbildung 77**). The observed value and simulated value do not match well in flood periods both for runoff and sediment yield simulation, especially for sediment. There are many factors including lack of particular information about tillage operations, the slope factor and sediment sampling, etc. The next step is to modify the SWAT model to make it more suitable for the red soil hilly area in southern China.

Tabelle 6: Model evaluation statistics for monthly runoff and sediment during calibration and validation

Model evaluation statistics	Calibration period (2009-2011)		Validation period (2012-2014)	
	Runoff (m ³ /s)	Sediment (t)	Runoff (m ³ /s)	Sediment (t)
R^2	0.94	0.72	0.84	0.80
PBIAS	0.06	0.21	-0.04	-0.06
NS	0.92	0.63	0.91	0.65

Dr. Guihua Liu von der Jiangxi Normal University, China, war Gastwissenschaftlerin am ihwb von Nov. 2019 bis Okt. 2020. Sie beschäftigte sich hauptsächlich mit den Analysemethoden hydrologischer Prozesse, einschließlich hydrologischer Modelle und statistischer Analysen. Dieser Beitrag ist ein Teil der Arbeiten, die sie zusammen mit Prof. Schmalz durchgeführt hat. Es zeigt ein kleines Einzugsgebiet mit bedeutsamen Landnutzungsänderungen in der Roterde-Hügellandschaft Südchinas. Das SWAT-Modell wurde ausgewählt, um die Auswirkungen des Landnutzungswandels auf Abfluss und Sediment zu analysieren. Die Ergebnisse der Analyse werden derzeit bearbeitet und veröffentlicht.

Assessing the performance of Sustainable Drainage Systems (SuDS) in urban context using SWMM5 modelling scenarios: a case study in Northern Italy

Roberta D'Ambrosio, M.Sc., Department of Civil Engineering, University of Salerno

Recently, particularly invasive urbanization dynamics resulted into a substantial increase in the urban impervious surface that forced the administrations to deal more frequently with the inability of the traditional drainage systems to manage stormwater in a sustainable and effective manner. Worldwide, integrated approaches, such as Sustainable Drainage Systems (SuDS), whose basic principle is the management of rainwater at source through the implementation of prevention, mitigation and treatment strategies, are increasingly being developed.

The first step of the project aimed to assess the benefits, in terms of reduction of floods, deriving from the implementation of SuDS in an industrial area of about 290 ha in Northern Italy and to analyse their behaviour under local actual and future climatic conditions. For this purpose, in absence of rain gauges in the case study area, analyses were carried out to obtain historical reliable and continuous rainfall data from all weather stations closest to the basin. Therefore, 10 years of rainfall data (2009-2018), recorded at 15 minutes time steps from 10 station (**Abbildung 78**), have been acquired by the Regional Agency for Environmental Protection of the Lombardia Region, and Inverse Distance Weighting has been used as a methodology of interpolation to obtain precipitation for the area of interest. Critical precipitation scenarios have been identified to evaluate the performance of SuDS during significant rainfall events.

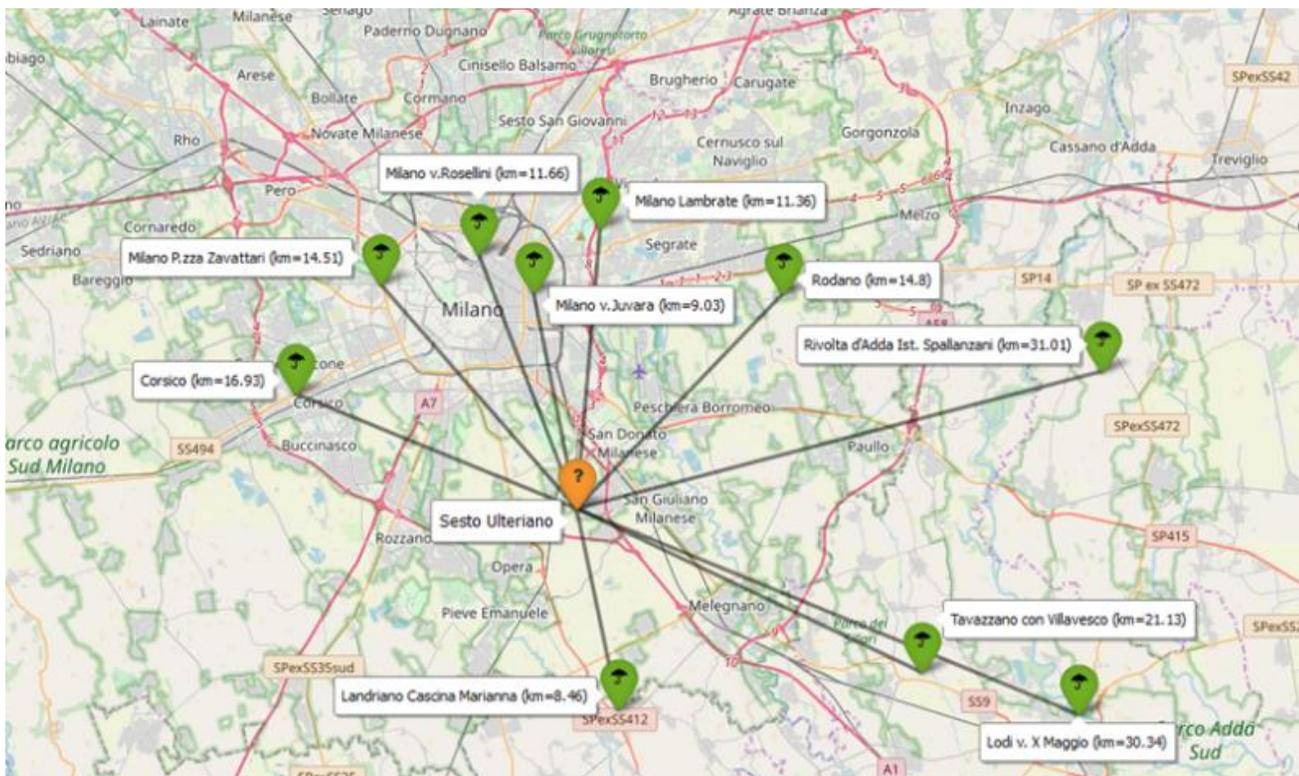


Abbildung 78: Ten rainfall stations close to the study area, south of Milan, Northern Italy

For this reason, it was considered appropriate to extract from the complete dataset: the year characterized by the maximum precipitation amount (1515.57 mm), the rain events with the maximum intensity per hour (5.23 mm/h), with the maximum overall intensity (7.36 mm/h) and with the highest return period (5 years with a 6.87 mm/h intensity). While the latter can be considered an almost “critical” rainfall event, the previous two despite the intensity are characterized by “common” values of total rainfall volume and duration. SWMM5 modelling allowed a comparison of the performance

of the studied sewer system (overall 1148 nodes, 1141 pipelines for a total of 36 km of network) of a “traditional” situation, without integrated strategies, with a scenario after implementation of green infrastructures. These systems have been located in the basin in accordance with the current structure of the urban agglomeration and involve the 10% of the study area. The results, assessed in terms of reduction of Maximum Flow (Q_{max}) and Total Volume (V_{tot}) in the outfalls of the drainage system following the implementation of SuDS, suggest that these sustainable infrastructures can give a real contribution in the management of stormwater (**Abbildung 79**). Nevertheless, their performance seems to be affected by the severity of rainfall events.

The second step of the project was focused on the assessment of the performance of SuDS under climate change. To this aim, statistical analyses on historical rainfall data sets typical of the study area, covering together the timeframe from 1858 to 2019, provided identification of temporal trends in precipitation extremes in order to design potential climate scenario within a 30 years future time window.

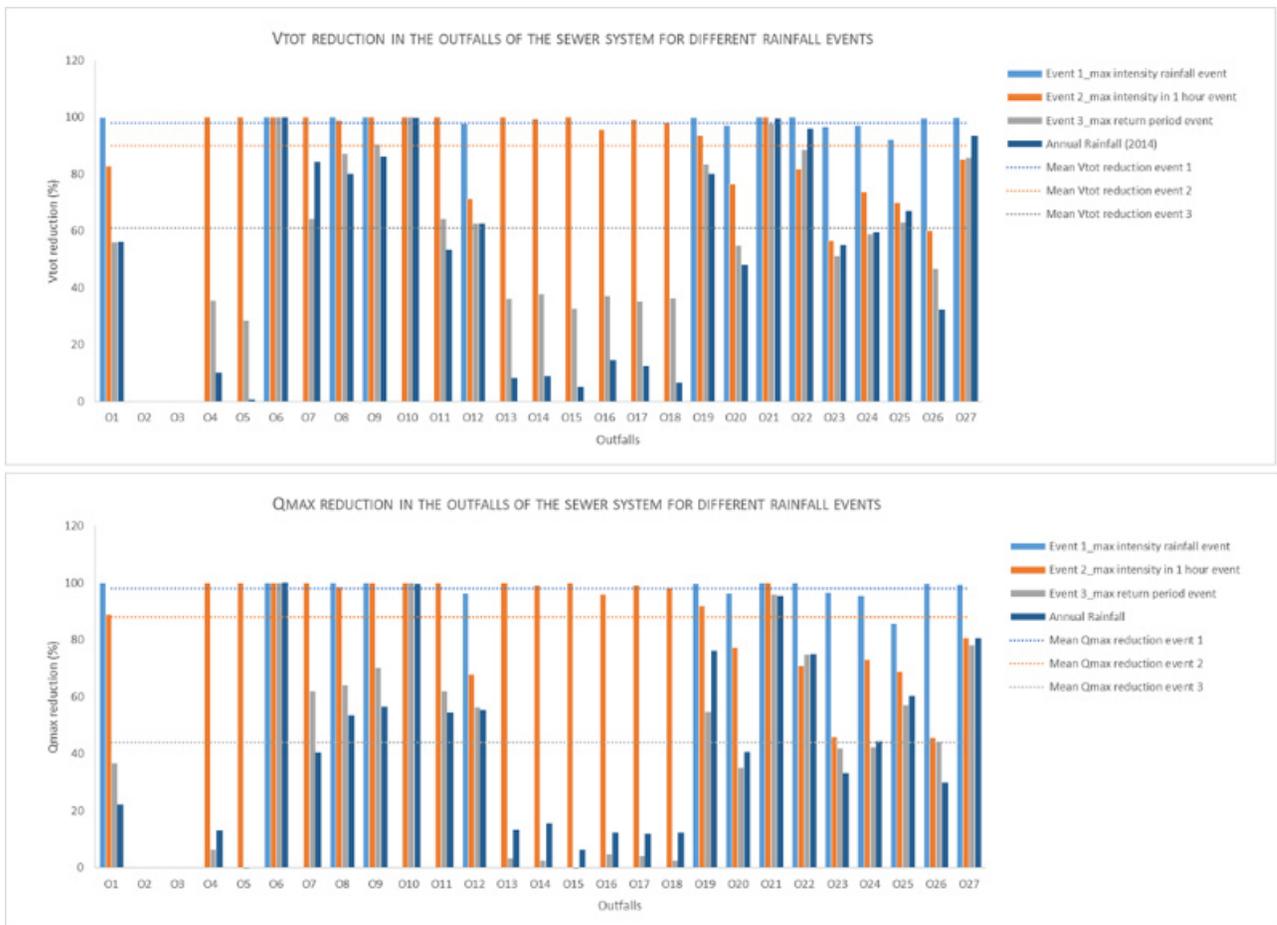


Abbildung 79: Reduction of Maximum Flow (Q_{max}) and Total Volume (V_{tot}) in the combined sewer overflows (outfalls) of the drainage system following the implementation of SuDS

In particular, trend analysis results suggested that a clear percentage increase in 24 hours (26%), 1 hour (4%) and 30 minutes (13%) rainfall extremes was registered for different stations surrounding the case study area since early 1900. Conversely, cumulative annual rainfall displayed more evidently a decrease (5.5%) (**Abbildung 80**). Starting from these results and assuming a short rainfall events intensification on one side and long term precipitation reduction on the other side, design hyetographs under current (2020) and potential future climate condition (2050) were derived. Current and future rainfall scenarios were used to force the combined hydraulic-hydrological model of the urban drainage

network, both accounting for a “traditional” scenario, where no SuDS practices are considered, and a SuDS” scenario. Results were assessed in terms of reduction of maximum discharge and total volume discharged from the combined sewer overflow of the network.

Both under current and future potential climate conditions, the implementation of SuDS techniques resulted in a notable reduction of both maximum discharge and total volume. However, in the case of the future potential climate scenario, the reduction percentages reduce to 70%, showing, at the same time, how SuDS can be valuable used to adapt to climate change conditions but that the resilience they provide in terms of stormwater management issue would be much more sensitive to climate input in the next future.

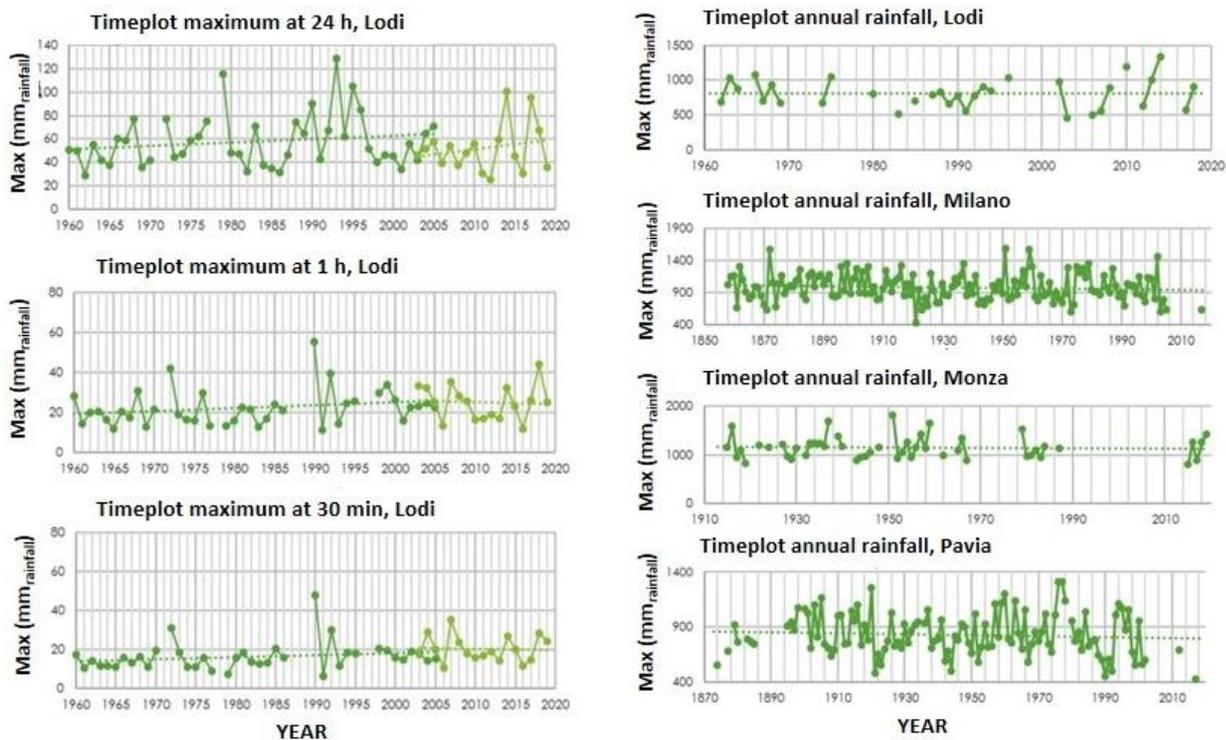


Abbildung 80: Left: Analyses of sub-hourly rainfall data of Lodi station for the identification of the extremes at 24h, 1h and 30 min. Right: Cumulative rainfall rate based on annual data sets of three different rainfall stations

Roberta D’Ambrosio ist Doktorandin an der Universität von Salerno in Italien. Unter der Betreuung von Prof. Dr. Antonia Longobardi beschäftigt sie sich mit der nachhaltigen Bewirtschaftung von Regenwasser in urbanen Einzugsgebieten. Dazu analysiert sie grüne Infrastrukturen als Strategie für resilientere Städte. Im Rahmen eines vom italienischen Ministerium für Wissenschaft und Forschung geförderten Sandwich-Doktorandenprogramms war sie für fünf Monate zu Gast am ihwb (Juni bis Okt. 2019). Ihre Ergebnisse aus dieser Zeit werden aktuell aufbereitet und veröffentlicht.

Beitrag eines Fördervereinmitglieds:

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

Interdisziplinäre Lösungen aus einer Hand

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH sind ein unabhängiges, inhabergeführtes Familienunternehmen, an zwölf Standorten in Deutschland mit über 250 Menschen. Wir beraten und planen umfassend, von der ersten Projektidee bis zur Betreuung nach der Fertigstellung. Wir arbeiten mit interdisziplinär zusammengestellten Projektteams, für die Entwicklung bestmöglicher Lösungen. Wir unterstützen das Zusammenwirken aller Projektbeteiligten mit den Institutionen, der Politik und der Öffentlichkeit. Wir sorgen für das Gelingen Ihrer Projekte: funktional, nachhaltig und wirtschaftlich.

Mit unserer Niederlassung sind wir in Darmstadt bereits seit 30 Jahren vertreten. Vor allem in den letzten Jahren konnten wir ein deutliches Wachstum verzeichnen und beschäftigen zur Zeit ca. 20 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, die für unsere privaten und öffentlichen Kunden der Regionen Rhein-Main und Rhein-Neckar tätig sind. Nach dem Motto „Wachstum braucht Raum“ haben wir Ende 2020 größere Büroräume in Darmstadt bezogen.

Unsere Schwerpunkte konzentrieren sich auf die Bereiche Wasserbau, Hochwasserschutz und Gewässerrenaturierung, Siedlungswasserwirtschaft, Grundwasserbewirtschaftung sowie Landespflege und Ökologie. Dabei macht erlaubt es unser interdisziplinärer Ansatz, Projekte mit größtmöglicher Umweltverträglichkeit zu planen und umzusetzen. Eingebunden in ein bundesweites Firmennetzwerk bearbeiten wir in Darmstadt auch Ingenieurleistungen der Geotechnik und anderer Fachdisziplinen.

Unsere neuen Räumlichkeiten sind dank der zentralen Lage bestens zu erreichen. Viele Kolleginnen und Kollegen kommen mit dem Fahrrad oder öffentlichen Verkehrsmitteln zur Arbeit. Das Büro ist zu Fuß innerhalb von 10 Minuten vom Hauptbahnhof aus erreichbar.



Unsere neuen Büroräume in der Landwehrstraße 54, Darmstadt

Umweltbaubegleitung FAIR

Mit dem Teilchenbeschleuniger zur Erforschung von Ionen und Antiprotonen baut die FAIR GmbH auf einer Fläche von 20 Hektar eine der weltweit größten und komplexesten Anlagen für internationale Spitzenforschung. Das FAIR-Projekt wird in internationaler und interdisziplinärer Zusammenarbeit realisiert (Quelle: fair-center.de).

Die Björnsen Beratende Ingenieure GmbH (BCE) war bereits im Zeitraum von 2014 - 2019 gemeinsam mit dem ARGE-Partner Mailänder Consult GmbH für ein breit gestreutes Aufgabenfeld verantwortlich. BCE konnte auch den Folgeauftrag zur ökologischen Bauberatung gewinnen und ist seit Januar 2020 erneut mit einem vielfältigen Leistungsbild auf der Baustelle FAIR vertreten.

Aufgrund der Lage im Wald liegt ein besonderes Augenmerk unserer Leistungen auf dem Arten- und Lebensraumschutz. Hierzu führt BCE mehrjährige Monitorings durch. Zudem kontrollieren wir die

jährliche Laichwanderung von Amphibien und die Instandhaltung der Leiteinrichtungen. Falls erforderlich setzen wir Amphibien und Reptilien in sichere Bereiche (Ersatzlaichgewässer, Waldsaum) um.

Im Rahmen der Begleitung der Bauausführung überwachen wir die Einhaltung der Umweltstandards, die sich aus den gesetzlichen Vorgaben und den verschiedenen Genehmigungen ergeben. Wir unterstützen den Bauherrn bei der Einweisung der Auftragnehmer und führen regelmäßige Kontrollbegehungen und Messungen durch. Wir informieren und beraten, falls schnell auf mögliche Gefährdungen der Umwelt reagiert werden muss. So können Schäden frühzeitig verhindert werden. Da der unterirdische Teilchenbeschleuniger im Trinkwasserschutzgebiet Zone IIIB errichtet wird, sind wir für die Aufrechterhaltung des vorhandenen Grundwassermessnetzes und das Grundwassermonitoring zuständig.

Um die enge Abstimmung des Bauherrn mit den Behörden und betroffenen Trägern öffentlicher Belange (v.a. Hessen Forst) während des gesamten Bauverlaufs aufrechtzuerhalten, organisiert BCE regelmäßige Besprechungen („Runder Tisch Ökologie“ und „Runder Tisch Wasser“). Zur Information des Auftraggebers FAIR wird quartalsweise ein Statusbericht angefertigt. Für weitere Informationen zu den von BCE und anderen Fachbüros geplanten, umgesetzten und überwachten Maßnahmen der Baustelle FAIR siehe auch WWW.GSI.DE.



Umsetzen von Erdkröten



Ersatzlaichgewässer für Erdkröte und Springfrosch



Tiefendifferenzierte Monitoringmessstellen



Leiteinrichtung für Erdkröten

Der Förderverein im Internet

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

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

TU Darmstadt » Fachbereich » Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

TU Darmstadt » Fachbereich » Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft » Förderverein

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Aktuell

Lehre

Wasserbau und Hydraulik

Ingenieurhydrologie + Wasserbewirtschaftung

Förderverein »

Informationen

DAWAKO

Förderpreis

Publikationen

Downloads

FÖRDERVEREIN IWW

Verein zur Förderung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft der Technischen Universität Darmstadt e. V. (IWW-Förderverein)

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

Die Förderung wird realisiert, durch:

- Publikation von wissenschaftlichen Arbeiten
- Veranstaltung des DAWAKO (Darmstädter wasserbau- und wasserwirtschaftliches Kolloquium)
- Bereitstellung von Lehrhilfsmitteln
- Beihilfen für wissenschaftliche Arbeiten, zur Ergänzung der apparativen Ausstattung und fachspezifischen Studienreisen
- Unterrichtung von Fachleuten über Forschungsergebnisse

Kontakt

Technische Universität Darmstadt
Wasserbau und Wasserwirtschaft
Dr.-Ing. Thomas Kraus
Verein zur Förderung des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Franziska-Braun-Straße 7
64287 Darmstadt
foerderverein@wb.tu-...

Die Homepage beinhaltet folgende Rubriken:

- Informationen

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

- DAWAKO

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

- Förderpreis

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

- Publikationen

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

- Downloads

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

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

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

64287 Darmstadt

AUFNAHMEANTRAG

Ja, ich/wir möchten Mitglied werden im:

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

- als Einzelmitglied (33 EUR/Jahr)*
 als Institution (111 EUR/Jahr Mindestbeitrag)*

**bitte zutreffendes ankreuzen*

Name, Vorname
oder Institution:

Ansprechpartner
bei Institutionen:

Straße, Hausnummer:

PLZ, Ort:

Telefon:

Email:

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

Ort Datum Unterschrift

Datenschutz:

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

WasserJahr 2020

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft



Foto: BjörnSEN Beratende Ingenieure / Renaturierter Speyerbach in Neustadt


BJÖRNSEN BERATENDE INGENIEURE



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Jahresheft der Fachgebiete:
Wasserbau und Hydraulik
Ingenieurhydrologie und Wasserbewirtschaftung