

6.1 Baggerungen und Sedimente

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbelasteter Sedimente im Kreisgerinne

Dipl.-Ing. Catrina Cofalla

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH Aachen

Dipl.-Ing. Sebastian Roger

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH Aachen

Markus Brinkmann

Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen

Sebastian Hudjetz

Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen

Prof. Dr. rer. nat. Henner Hollert

Institut für Umweltforschung, RWTH Aachen

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
RWTH Aachen

Kurzfassung

Hohe Schadstoffkonzentrationen in Gewässern werden seit einigen Jahren durch Richtlinien der Europäischen Union eingeschränkt. So soll die Wasserrahmenrichtlinie (EU, 2000) und die Verabschiedung einer Liste mit prioritären Substanzen (EU, 2001) helfen, einen „guten ökologischen Zustand“ in den Gewässern zu erreichen. Außergewöhnliche Strömungsereignisse (z. B. Extremhochwasser, Baggerungen) können jedoch zu einer erhöhten Erosion von Sedimenten führen. Diese remobilisierten Altsedimente sind häufig mit toxischen Substanzen kontaminiert, die die Wasserqualität signifikant verschlechtern, welches durch die erwähnten Richtlinien unter Umständen nicht zulässig ist. Es ist wichtig, das Erosions- und Transportverhalten schadstoffbelasteter Sedimente zu prognostizieren, da Sedimente als Quelle und Senke für den Schadstofftransport fungieren können. Durch den Anstieg der toxischen Substanzen in der Wassersäule wird das aquatische Ökosystem belastet. Ziel der vorgestellten Machbarkeitsstudie ist es, die Interaktionen zwischen Sediment, Schadstoff und Organismus zu verstehen. Mit Hilfe dieses interdisziplinären Forschungsansatzes wird die Zusammenarbeit zwischen Wasserbauingenieuren und Ökotoxikologen gefördert, um die Hochwasserfolgenbewertung für beide Fachbereiche zu verbessern. Das Projekt wurde durch die Exzellenzinitiative des Bundes und der Länder gefördert.

1. Einleitung

Schadstoffbelastete Sedimente können häufig über Jahrzehnte an der Gewässersohle in strömungsberuhigten Bereichen (Stauhaltungen, Hafenbecken, Vorland, Buhnenfelder) ruhen und stellen Umweltbehörden, Hafenbetreiber, Wasserstraßenverwaltung und Energiekonzerne teilweise vor große Schwierigkeiten und Kosten, wenn Unterhaltungsmaßnahmen (Bag-

gerung, Entsorgung, Trinkwasseraufbereitung) erforderlich werden. Neben den abgelagerten (historischen) Verschmutzungen haben auch neuartige Baustoffe ein ökotoxikologisches Schädigungspotential (Hollert et al., 2008), welches es zu betrachten gilt.

Im Rahmen des Zukunftskonzeptes „RWTH 2020: Globale Herausforderungen in Angriff nehmen“ und der Maßnahme zur Schärfung des wissenschaftlichen Profils der Hochschule wurde zur Stärkung der interdisziplinären Forschung und zur Förderung hochinnovativer, fachübergreifender Forschungsthemen der Exploratory Research Space @ RWTH Aachen (ERS) aufgebaut. Mit einem „Seed Fund“ werden ERS „Pathfinder Projects“ gefördert, die sich unkonventionellen, kreativen, hochinnovativen und fachübergreifenden Forschungsthemen widmen. Das interdisziplinäre „Pathfinder Project“ FLOODSEARCH wurde im ersten themenoffenen Aufruf („Open Call“) durch das ERS Lenkungsgremium bewilligt. Von der neuen Kooperation der Institute für Umweltforschung (IUF, Prof. Hollert) und Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW, Prof. Schüttrumpf) erhofft man sich eine verbesserte Hochwasserfolgenbewertung, die es erlaubt, den Einfluss sedimentgebundener toxischer Stoffe auf aquatische Organismen besser einzuschätzen.

Mit diesem Projekt soll nachgewiesen werden, ob eine gekoppelte experimentelle Untersuchung sedimentgebundener toxischer Stoffe in einem interdisziplinären Ansatz (Wasserbau, Ökotoxikologie) möglich ist. Um die Wissensbasis zu schaffen, werden in einem Kreisgerinne (Abbildung 1), das am IWW zur Verfügung steht, erstmalig Untersuchungen durchgeführt, bei denen hydromechanische und bioanalytische Methoden kombiniert werden (Wölz et al., 2009).

Im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie werden im Kreisgerinne künstlich hergestellte Sedimente zusammen mit Forellen eingebracht und eine standardisierte Hochwasserwelle als Versuchsprogramm simuliert. Während des Versuchs werden sedimentologische, hydromechanische, biologische und chemisch-physikalische Parameter (Drehzahlen, Sohlschubspannungen, Durchlicht, Temperatur, pH-Wert und Sauerstoffgehalt) aufgezeichnet und automatisiert Proben zur weiteren Analyse gezogen. Nach einer Versuchsdauer von fünf Tagen werden die Forellen aus dem Kreisgerinne entnommen und seziiert, damit anschließend Biomarker analysiert werden können. Die gesammelten Parameter sollen helfen, die Ökotoxizität von sedimentgebundenen Schadstoffen zu beurteilen, welche in hydromechanischen Extremsituationen (Hochwasser, Nassbaggern, Entleerungen von Talsperren) remobilisiert und bioverfügbar gemacht werden können.

Aus diesem interdisziplinären Projekt können Forschungsideen generiert werden, die in Zukunft die bis dato isoliert betrachteten Aspekte wie Hochwasserrisiko, Sedimentdynamik und ökotoxikologische Sedimentqualitäten in Bewertungsansätzen effizienter verbinden sollen. Im Anschluss an diese Machbarkeitsstudie gilt es daher, weitere interdisziplinäre Folgeprojekte zur gekoppelten hydrotoxischen Ausbreitung und Wirkung von Sedimenten aufzubauen.

2. Versuchsaufbau

2.1 Allgemein

In diesem Kapitel werden der Versuchsaufbau und das Versuchsprogramm vorgestellt. Die Versuche wurden im Kreisgerinne am Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft durchgeführt. Das Kreisgerinne befindet sich in einer eigens dafür konzipierten Klimakammer und kann somit unabhängig von den äußeren Wetterbedingungen betrieben werden. Der Versuchsstand wurde für die Untersuchung von Transportprozessen kohäsiver Sedimente entwickelt. Da Schadstoffe meistens an kohäsiven Sedimenten anhaften, interessiert in diesem Projekt besonders dessen Erosions- und Transportverhalten im Hochwasserfall. Die Messtechnik am Kreisgerinne wurde für die interdisziplinäre Arbeit erweitert.

2.2 Das Kreisgerinne

Die Generierung der Strömung in Längsrinnen erfolgt durch die Neigung der Sohle. Um eine stationäre Strömung in der Längsrinne zu garantieren, wird das Wasser mittels Pumpen vom Ausfluss wieder zum Einflussbereich der Rinne gefördert. Hierbei werden mögliche Flockungsprozesse des Sediments zerstört. Eine ungestörte Untersuchung des Materials ist nicht möglich.

Die Untersuchungen zum partikelgebundenen Schadstofftransport finden daher in einem speziell konzipierten Versuchsstand (Abbildung 1) des Instituts für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) statt.



Abbildung 1: Das Kreisgerinne in der Klimakammer am IWW

Das von Spork (1997) entwickelte Kreisgerinne dient der grundlegenden Untersuchung der Transportprozesse von kohäsiven Sedimenten. Die spezielle Erzeugung der Strömung berücksichtigt hierbei die Transportphänomene von kohäsiven Sedimenten wie Flockung. Das Transport- und Absetzverhalten von Feinsedimenten wird durch Strömungsparameter (Fließgeschwindigkeit, Sohlschubspannung), Flockungseigenschaften (Partikelgröße, Form, Gewicht, Oberflächenbeschaffenheit, Oberflächenladung) und Eigenschaften der Einzelpartikel beeinflusst.

Das Kreisgerinne besteht aus einem ringförmigen, drehbar gelagerten Kanal aus Glas und einem koaxial aufgehängten, ebenfalls drehbar gelagerten Deckel aus Plexiglas, der von oben auf die Wasseroberfläche im Kanal aufgesetzt wird. Der Deckel kann individuell mit Hilfe der acht orangefarbenen Gewindestangen auf die gewünschte Wassertiefe eingestellt werden, um den kraftschlüssigen Kontakt zwischen Wasser und Deckel zu garantieren. Das Kreisgerinne hat einen Innendurchmesser von 3,00 m und eine Gerinnebreite von 0,25 m. Durch die gegensinnige Rotation von Deckel und Gerinne wird eine unendliche Strömung erzeugt. Da alle Randbedingungen klar definiert sind, ist der gesamte Strömungsprozess steuerbar. Durch die unterschiedlichen Umdrehungsgeschwindigkeiten von Deckel und Gerinne wird eine Hauptströmungsrichtung im Kanal vorgegeben.

Die Strömung kann vereinfacht mit Hilfe der COUETTE-Strömung beschrieben werden. Bei dieser idealisierten Strömung befindet sich ein Fluid zwischen zwei parallelen Platten, die sich relativ zueinander bewegen. Die erzwungene Strömung aus der Bewegung der beiden parallelen Platten, kommt nur aufgrund der Haftreibung (Adhäsionskraft) zwischen Platte und Fluidmolekülen zustande. Es entsteht ein lineares Geschwindigkeitsprofil. Die Fluidteilchen an der unteren Platte besitzen daher die Geschwindigkeit $v = 0$ und die Oberen die Geschwindigkeit $v = v_0$.

Durch die Bewegung der Platte wirkt eine resultierende Tangentialkraft in dieselbe Richtung in die sich auch die Platte bewegt. Dieser entgegen wirkt die Widerstandskraft des Fluids infolge der stoffeigenen Viskosität. Die wirkende Tangentialkraft wird auch Schleppspannung genannt und wirkt auf die Plattenfläche ΔA . Aus diesem Zusammenhang folgt:

$$\tau = \frac{\Delta F}{\Delta A} \quad (1)$$

τ = Schubspannung [N/m²]

ΔF = Schubkraft infolge der Fluidviskosität [N]

ΔA = Plattenfläche [m²]

Die Grundzüge der COUETTE-Strömung lassen sich auf das Kreisgerinne übertragen, allerdings wird die Strömungssituation durch den Abstand von Deckel zu Gerinne und den ringförmigen Aufbau komplexer. Durch die Rotation der Bauteile und der daraus resultierenden Wandreibung wird eine Endlosströmung im Gerinne erzeugt. Die Sekundärströmung im Kreisgerinne (vgl. Abbildung 2) resultiert aus der Trägheit des bewegten Wasserkörpers. Dreht sich nur der Deckel, wirken auch dort die größten Kräfte und der Sekundärwirbel ist nach außen gerichtet (a). Dreht sich allerdings

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbehafteter Sedimente im Kreisgerinne

nur das Gerinne, drehen sich die Kraftverhältnisse um und der Sekundärwirbel dreht sich nach innen (b). Erst durch die gegensinnige Rotation von Deckel und Gerinne kann die Größenordnung der Sekundärwirbel deutlich reduziert werden. Es wirken dann am Deckel und an der Sohle Fliehkräfte, so dass sich zwei gegen-einander drehende Wirbel im Wasserkörper ausbilden (c).

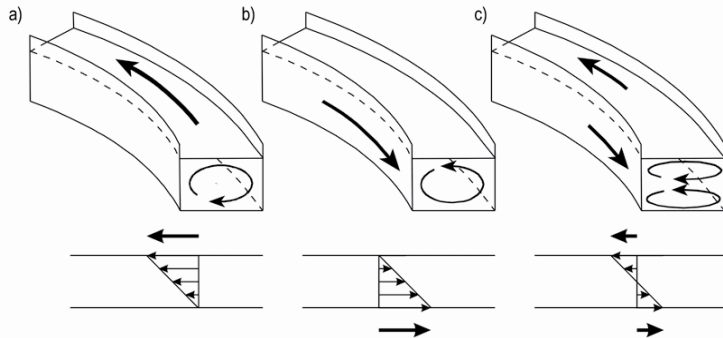


Abbildung 2: Sekundärwirbel im Kreisgerinne bei unterschiedlichen Drehrichtungen (Schweim, 2005)

Bei Erosionsuntersuchungen muss eine gleichmäßig verteilte Sohlschubspannung über die gesamte Gerinnebreite realisiert werden. Mit Hilfe der Laser-DOPPLER-Velocimetrie können die Fließgeschwindigkeiten im Kreisgerinne berührungslos gemessen werden und das optimale Drehzahlverhältnis von Deckel ω_d zu Gerinne ω_c für die angestrebten Untersuchungen gefunden werden. Mit Hilfe des logarithmischen Wandgesetzes können die gemessenen Tangentialgeschwindigkeiten in Sohlschubspannungen umgerechnet werden (Zanke, 1982). Für Erosionsversuche ergab sich somit ein Drehzahlverhältnis von $\omega_d/\omega_c = -1,6$.

2.3 Messtechnik

Die Messtechnik wurde auf Grundlage der vorhandenen Technik am Kreisgerinne erweitert und an die aktuellen Anforderungen angepasst. Hierbei standen besonders die Lebenserhaltungsmaßnahmen (Kühlung, Sauerstoffzufuhr) für die eingesetzten Testorganismen im Vordergrund und damit verbunden die zu messenden Parameter (Temperatur, Sauerstoffgehalt und pH-Wert). Zu der bestehenden Ausrüstung gehören sechs Messanschlüsse am Kreisgerinne, die in Abbildung 3 links schematisch dargestellt und rechts als Foto abgebildet sind.

Die Messanschlüsse erlauben es, die Suspension im Versuchsbetrieb aus dem Kreisgerinne zu entnehmen und gegebenenfalls zurückzuführen. So ist es möglich, verschiedene Kreisläufe zu realisieren, in denen die notwendigen Parameter gemessen und auch Substanzen (z. B. Luft) zugegeben werden können. Nachdem die Suspension entgegen der Fließrichtung entnommen wird, folgt die Messung der Parameter und dann die Rückführung in das Kreisgerinne.

Zur Charakterisierung des Transportverhaltens des Sediments ist es wichtig, die Änderung der Sedimentkonzentration über die Zeit zu verfolgen. Daher ist die Entnahme von Proben wichtig. Für diese Untersuchungen wurde angenommen, dass die Konzentrationsverteilung über die Tiefe homogen verläuft, so dass eine Entnahmestelle für die Suspension ausreicht, um den zeitlichen Verlauf der Konzentration im Kreisgerinne nachvollziehen zu können. Der erste Kreislauf, der auch schon in früheren Versuchen zum Einsatz kam, ermöglicht demnach die Probennahme der Suspension mit angeschlossener Trübungsmessung. Hierbei wird kontinuierlich die Sedimentsuspension aus den mittleren Messanschlüssen entnommen, in einen Durchlichtmesser geleitet und zurück in das Kreisgerinne gepumpt. Das Messprinzip beruht auf der Messung der

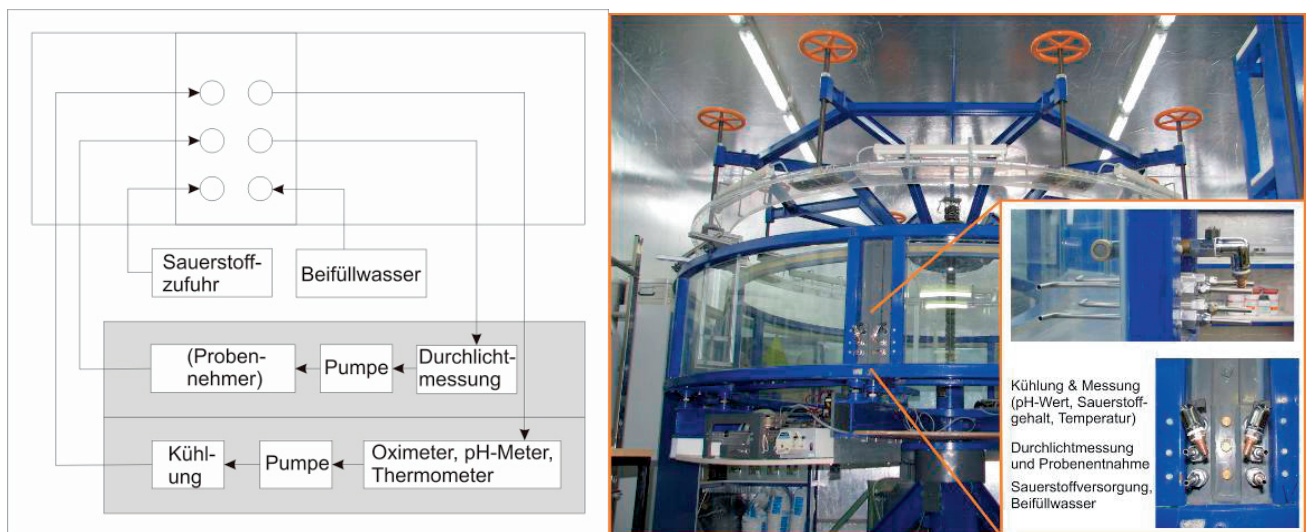


Abbildung 3: Anordnung der Messtechnik am Kreisgerinne

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbelasteter Sedimente im Kreisgerinne

Lichtintensität als Vergleichsmaß für die Trübung. Das Licht scheint durch die Suspension und wird von einem Sensor registriert. Diese Lichtintensität wird als Frequenz [1/s] angegeben. Es gilt, je höher die Frequenz ist, desto geringer ist die Trübung und somit auch die Feststoffkonzentration im Wasser. Zu diskreten Zeitpunkten erfolgt eine Probenentnahme, um die Trübungsmessungen kalibrieren zu können. Dazu stehen 40 Probeflaschen bereit (Abbildung 4), die automatisch angesteuert werden, sodass alle Proben einem genauen Zeitpunkt zugeordnet werden können. Durch die Probenentnahme wird dem Kreisgerinne Wasser entnommen. Um zu gewährleisten, dass der Deckel immer kraftschlüssig auf der Wasseroberfläche aufliegt und somit die gewünschte Sohlschubspannung an der Sohle erreicht wird, muss das entnommene Wasser nachgefüllt werden. Hier wird Leitungswasser nachgefüllt, die dadurch entstehende Verdünnung der Suspension kann vernachlässigt werden.

Im zweiten Kreislauf werden die wasserchemischen Parameter aufgezeichnet und das Medium gekühlt. Nach der Entnahme wird die Suspension durch eine Messflasche gepumpt, in der ein Oximeter und ein pH-Meter den Sauerstoffgehalt, den pH-Wert und die Temperatur messen. Anschließend wird das Wasser durch die Kühlanlage befördert, bevor es zurück ins Kreisgerinne gepumpt wird. Die Solltemperatur im Kreisgerinne beträgt 13°C. Beide beschriebenen Kreisläufe werden mit einer separaten Schlauchpumpe angetrieben. Durch den Einsatz solcher Pumpen wird eine Zwangsförderung erreicht, außerdem können die Pumpen nicht durch Abrasion zerstört werden, wie es bei Kreiselumpen möglich ist.

Neben der Kühlanlage wurde als weitere Lebenserhaltungsmaßnahme für die Tierversuche eine Sauerstoffversorgung realisiert. Hierzu wurde in der untersten Reihe der Messanschlüsse ein Sprudelstein installiert, der an einer Pumpe angeschlossen ist. Durch den Sprudelstein gelangen kleine Luftblasen in den Wasserkörper. Angestrebt wird bei einer Solltemperatur von 13°C ein gesättigter Sauerstoffgehalt von 10,40 mg/l.

3. Methodik

3.1 Allgemein

Anhand dieser Machbarkeitsstudie sollen neue Mög-

lichkeiten in der Hochwasserfolgenbewertung aufgezeigt werden. Im Rahmen dieses Projekts werden zwei Versuchsreihen durchgeführt, die es später erlauben, die Einwirkung der toxischen Stoffe auf die Fische (hier: Regenbogenforellen) klar zu definieren. Tabelle 1 zeigt eine Übersicht der durchgeführten Versuche im Rahmen der Machbarkeitsstudie. Zuerst wurden zwei Versuche mit unbelastetem Kunstsediment durchgeführt. Es folgten Versuche mit toxisch belastetem Sediment. Es wurde je Sedimenttyp ein Versuch mit Forellen und ein Versuch ohne Forellen durchgeführt.

Tabelle 1: Versuchsprogramm im Projekt FLOOD-SEARCH

	Mit Forellen	Ohne Forellen
Unbelastetes Sediment	X	X
Belastetes Sediment	X	X
Klares Wasser	X	

In dieser Machbarkeitsstudie wurde multifraktionelles, künstliches Sediment nach der OECD-Richtlinie Nr. 218 (OECD, 2004) verwendet und die Standardhochwasserganglinie nach DIN 4049-3 (DIN 4049-3, 1992) an die Bedingungen im Kreisgerinne angepasst.

Zuerst kommt das toxisch unbelastete Sediment im Kreisgerinne zum Einsatz, danach folgen die Versuche mit dem toxisch belasteten Material. Eine Versuchsreihe besteht aus zwei unterschiedlichen Versuchen. Im ersten Versuch werden die sedimentologischen Parameter (z.B. Konzentration und Zusammensetzung) mit Hilfe von Trübungsmessungen und Probenentnahmen erfasst, mit anschließender Analytik. Ergänzend wird mit Fotos und Videos das Erosions- und Transportverhalten qualitativ ausgewertet. Im zweiten Schritt werden Fische und Sediment zusammen im Kreisgerinne untersucht. So ergeben sich insgesamt vier Versuche, die im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie durchgeführt wurden. Zusätzlich werden bei diesen Versuchen die Lebenserhaltungsmaßnahmen für die Forellen eingeschaltet. Durch die flexible Anordnung der Messtechnik, können die Versuche jederzeit neuen Anforderungen



Abbildung 4: Probennehmer am Kreisgerinne

angepasst werden. Hinzukommend wurde ein Klarwasserversuch mit Leitungswasser durchgeführt, um den Strömungseinfluss als Stressfaktor für die Fische zu identifizieren.

Da standardisiertes Sediment bei diesen Versuchen zum Einsatz kommt, wird auch für das Hochwasserszenario eine standardisierte Hochwassereinheitsganglinie nach DIN 4049-3 (links) verwendet. Eine Hochwasserganglinie wird üblicherweise als Durchfluss in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Da die Wassermenge während der Versuche im Kreisgerinne konstant bleibt, wird bei einem Hochwasser im Kreisgerinne die Zunahme des Durchflusses durch eine schneller werdende Umdrehung von Deckel und Gerinne realisiert. Dadurch erhöht sich die sohlnahe Belastung und es kommt zur Remobilisierung des Sediments.

Sedimentzusammensetzung

In der Versuchsreihe von FLOODSEARCH wird künstliches, multifractionelles Sediment verwendet, das nach einem OECD-Standard (OECD, 2004) gemischt wird. Die Vorteile eines künstlichen Sediments liegen in der Reproduzierbarkeit von Messergebnissen. Schwankungen in der Zusammensetzung, wie es bei natürlichen Sedimenten vorkommt, können bei diesen Sedimenten umgangen werden. Trotzdem bestand die Anforderung, ein naturnahes Sediment herzustellen, damit der Bezug zu einem natürlichen Hochwasserereignis nicht verloren geht. Die Rezeptur ist der OECD-Richtlinie 218 entnommen. Die Einzelbestandteile des Sediments setzen sich aus 5% Torf, 20% Kaolinit und 75% Quarzsand zusammen (vgl. Abbildung 5).

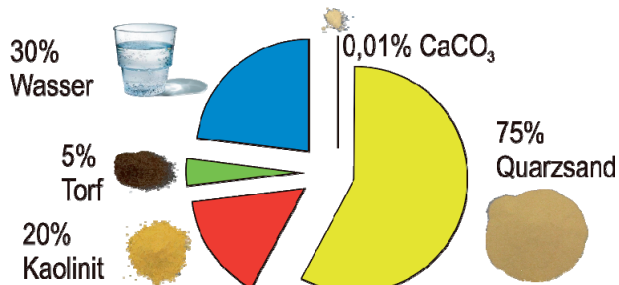


Abbildung 5: Sedimentzusammensetzung

Für die Sedimentherstellung muss ein aufwendiger Mischungsvorgang genau beachtet werden. Dieser sieht vor, dass der Torf getrocknet und anschließend sehr fein gemahlen wird. Die Partikelgröße sollte hierbei kleiner 1 mm sein. Danach wird der Torf mit Wasser zwei Tage lang kontinuierlich gerührt. In dieser Zeit nimmt das Torfmehl viel Wasser auf und quillt. Im Anschluss werden Kaolinit und Quarzsand dazugegeben und so lange vermischt, dass eine homogene Masse entsteht. Nach einer siebentägigen Lagerung kann das Sediment im Kreisgerinne eingesetzt werden. Bei der Aufbereitung der Sedimente variierte die Lagerungszeit zwischen sieben Tagen und vier Wochen. Dieser Prozess hat sich auf die Sedimenteigenschaften (Mitchener und Torfs, 1996) ausgewirkt, welcher in Kapitel 0 beschrieben ist.

Im Kreisgerinne ist eine Schichtdicke des Sediments zwischen 4 und 5 cm gewünscht, so dass im Belastungsfall ausreichend Erosionsmaterial zur Verfügung steht. Um diese Schichtdicke zu erreichen, muss für

jeden Versuch 175 kg Sediment hergestellt werden. Da natürliche Konsolidierungszeiten im Kreisgerinne nicht erreicht werden können, wurde die Konsolidierungszeit nach Schweim, 2005 und Parchure und Mehta, 1985 auf drei Tage festgelegt.

Neben den Untersuchungen mit dem unbelasteten Sediment bestand das Untersuchungsziel auch darin, die Auswirkungen von anthropogen verursachten Belastungen auf aquatische Organismen in Gewässern durch partikulärgebundene Schadstoffe zu untersuchen. Hierfür wurden dem zuvor gemischten OECD-Sediment PAKs (Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe) zugegeben. Dafür werden der Gesamtmasse 10% Sediment entnommen und im Labor getrocknet. Anschließend wird das getrocknete Sediment mit den Schadstoffen versetzt. Nachdem das Lösungsmittel verfliegen ist, wird dieser hoch belastete Teil der restlichen Sedimentmasse wieder untergemischt, die dann nochmals eine weitere Woche lagern muss, bevor sie unter strengen Sicherheitsvorkehrungen ins Kreisgerinne eingebaut werden kann.

3.2 Simuliertes Hochwasserereignis

Für die Versuche im Rahmen des Projekts FLOODSEARCH werden zwei Hochwasserkurven verwendet. In Abbildung (rechts) ist die Belastungskurve für eine Versuchsdauer von fünf Tagen dargestellt. Auf der Ordinate sind in diesem Fall die Sohlschubspannung in $[\text{N/m}^2]$ aufgetragen und auf der Abszisse die Zeit in Stunden $[\text{h}]$. Zum Vergleich ist links in der Abbildung die Einheitsganglinie aus der DIN 4049-3, 1992) abgebildet. Es ist zu erkennen, dass der charakteristische Verlauf der Kurve beibehalten wurde. Die rote Kurve kennzeichnet den Verlauf der Sohlschubspannung mit einer maximalen Sohlschubspannung von $\tau = 0,4 \text{ N/m}^2$ für die Versuche, in denen keine Fische ins Kreisgerinne eingesetzt werden.

Bedingt durch die hohen Sedimentkonzentrationen in der Wassersäule verstopfte in den ersten Versuchen bei $\tau = 0,4 \text{ N/m}^2$ die Messflasche, die am Kühlwasserkreislauf angeschlossen ist, und hatte eine Erwärmung des Wassers zur Folge. Diese Störung galt es, in den Versuchen mit Fischen unbedingt zu vermeiden, so dass die maximale Sohlschubspannung für alle Versuche mit Organismen um $\Delta\tau = 0,1 \text{ N/m}^2$ verringert und eine stabilere Messflasche installiert wurde, um Ver-

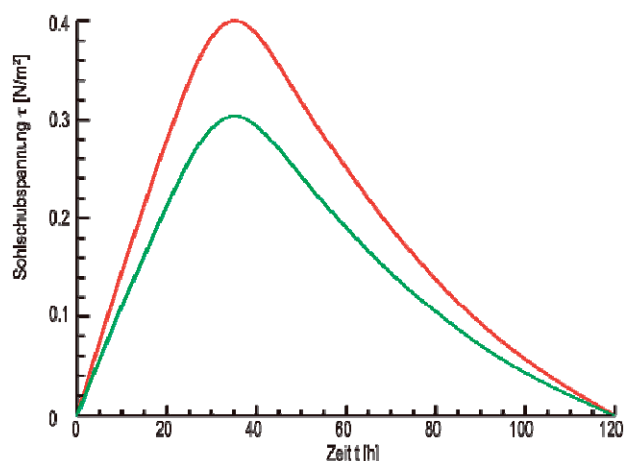


Abbildung 6: Standardisierter Verlauf der Sohlschubspannung

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbehafteter Sedimente im Kreisgerinne



Abbildung 7: Forellen als Versuchstiere im Kreisgerinne

stopfungen vorzubeugen. Diese Maßnahmen zeigten sich den nachfolgenden Versuchen als erfolgreich. Es ergibt sich also eine maximale Sohlschubspannung von $\tau = 0,3 \text{ N/m}^2$ für die Versuche mit Fischen. Durch diese Maßnahmen ist gewährleistet, dass der Kühlkreislauf 120 Stunden ohne Störungen im Einsatz ist und die Lebenserhaltungsmaßnahmen für die Fische zuverlässig arbeiten. Der Verlauf der Hochwasserganglinie nach der Anpassung ist in der grünen, flacheren Kurve dargestellt.

3.3 Testorganismen

Um die Auswirkungen der Hochwässer unter ökotoxikologischen Gesichtspunkten abschätzen zu können, wurden Regenbogenforellen (*O. mykiss*, vgl. Abbildung 7) als Testorganismus im Kreisgerinne eingesetzt.

Obwohl Regenbogenforellen keine Standardtestorganismen darstellen, werden sie häufig für ökotoxikologische Tests eingesetzt. Die ETOX Datenbank des Umweltbundesamts (UBA, 2009) listet zudem über 1000 Einträge über Toxizitätstests verschiedener Substanzen mit unterschiedlichen Endpunkten, die an Regenbogenforellen durchgeführt worden sind. Der Organismus ist daher für die angestrebten Untersuchungen einsetzbar, da verschiedene Endpunkte untersucht werden. Weiterhin ist der Organismus in hoher Stückzahl beziehbar und leicht zu halten. Auch ist die Regenbogenforelle ein Repräsentant für die Lebewesen in Gewässern der gemäßigten Breiten. Je Versuch konnten 15 Tiere im Kreisgerinne dem Sediment ausgesetzt werden.

4. Darstellung der Ergebnisse

4.1 Allgemein

Im nachfolgenden Kapitel werden die Messergebnisse der Machbarkeitsstudie FLOODSEARCH vorgestellt und diskutiert. Dabei ergeben sich zwei unterschiedliche Bereiche. Zunächst werden die wasserchemischen Parameter, Sauerstoffgehalt, Temperatur und pH-Wert anhand von Grafiken erläutert. Anschließend werden die Messergebnisse der sedimentologischen Parameter vorgestellt. Hierzu zählen

die kontinuierlich gemessene Trübung und die Konzentrationswerte zu diskreten Zeitpunkten. Ergänzend lassen sich einige Transportphänomene qualitativ anhand von Foto- und Videoaufnahmen interpretieren.

4.2 Wasserchemische Parameter

Die wasserchemischen Parameter werden über die gesamte Versuchsdauer von 120 Stunden alle 2 Sekunden aufgezeichnet. Mit Hilfe dieser detaillierten Messerfassung können die Umweltbedingungen für die Forellen dokumentiert und mögliche Störquellen identifiziert werden. Ziel dieser Aufzeichnung und Überwachung ist es, den Organismen ein optimales Milieu zu bieten, bei dem die angestrebte Wassertemperatur, der Sauerstoffgehalt und der pH-Wert während der gesamten Versuchsdauer konstant gehalten werden.

Exemplarisch werden die Ergebnisse aus Versuch III vorgestellt. Die beschriebene Auswertung wurde für alle Versuche in der gleichen Weise durchgeführt. Bei Versuch III wurde belastetes Sediment im Kreisgerinne eingebaut und Regenbogenforellen wurden während der Hochwassersimulation eingesetzt. Daher lag die

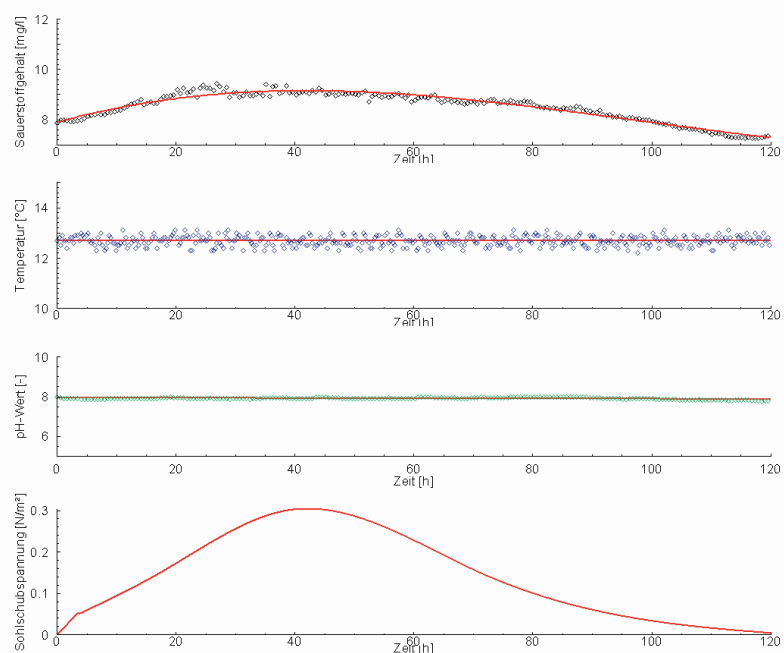


Abbildung 8: Wasserchemische Parameter und Hochwasserkurve aus Versuch III (belastetes Sediment, mit Fischen)

maximale Sohlschubspannung in diesem Versuch bei $\tau = 0,30 \text{ N/m}^2$. In Abbildung sind die gemessenen Parameter untereinander dargestellt. Die erste Kurve zeigt den Verlauf des Sauerstoffgehalts über die Versuchszeit von 120 h. Anschließend wird der Verlauf der Temperatur und zuletzt des pH-Werts aufgezeigt. Die unterste Kurve gibt den Verlauf der Sohlschubspannung über die Zeit an. So lassen sich die Parameter leichter dem Hochwasser zeitlich zuordnen.

Die farbigen Punkte in den drei oberen Plots stellen die einzelnen Messpunkte dar. Die durchgehenden Linien geben die Regressionskurven an. Der Verlauf des Sauerstoffgehalts folgt dem Verlauf der Sohlschubspannung. Es wird angenommen, dass die Erosion des Sediments den Sauerstoffgehalt des Wassers nachhaltig beeinflusst. Die Sauerstoffkonzentration steigt mit zunehmender Sohlschubspannung an. Die ansteigende Sohlschubspannung steigert auch die Erosion der Sedimentsohle, so dass die Konzentration an Schwebstoff in der Wassersäule steigt. Die Zunahme der Schwebstoffkonzentration könnte den Gehalt an gelösten Sauerstoff im Wasser ändern. Im Rahmen der Machbarkeitsstudie konnte dieser Annahme nicht weiter nachgegangen werden. Die Regressionskurve des Sauerstoffgehalts ist ein Polynom dritten Grades mit einem Bestimmtheitsmaß von $r^2 = 0,95$. Die Aufzeichnung der Temperatur und des pH-Werts verlaufen konstant über den gesamten Messzeitraum. Die Streuung der Temperaturmesswerte resultiert aus der Regelung der Kühleinheit. Daher ist die Bestimmung des Bestimmtheitsmaß r^2 in diesem Fall nicht aussagekräftig. Die mittlere Temperatur des Wassers betrug $T = 12,69^\circ \text{C}$ mit einer Standardabweichung von 0,196. Für den pH-Wert lässt sich ein Mittelwert von 7,90 bei einer Standardabweichung von 0,052 angeben. Die Auswertung der Parameter zeigt, dass es möglich ist ein stabiles Umfeld für die Forellen aufzubauen.

4.3 Sedimentologische Parameter

Nachfolgend werden die kontinuierlichen Durchlichtmessungen, die Analyse der Proben und die qualitative Auswertung der Fotos vorgestellt. Hierbei steht die Charakterisierung hinsichtlich der kritischen Sohlschubspannung und des Transportverhaltens des eingesetzten künstlichen OECD-Sediments im Vordergrund. Weiterhin wird der Einfluss der Regenbogenforellen auf das Sedimentverhalten diskutiert.

Die Kalibrierung der Trübungsmessung (Durchlichtmessung) erfolgt anhand der entnommenen Proben, die automatisch zu diskreten Zeitpunkten während der Versuche gezogen werden. Die aus den Proben ermittelten Konzentrationswerte können dann zeitlich den entsprechenden Trübungswerten zugeordnet werden. Mit Hilfe dieser Stützstellen lassen sich Näherungsgleichungen bestimmen, mit denen für die gesamte Versuchsdauer und jeden Trübungswert die zugehörige Konzentration bestimmt

werden kann. Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen Trübungsmessung und Konzentrationswerten. Auf der Abszisse sind die Durchlichtwerte logarithmisch aufgetragen, die kontinuierlich gemessen werden. Auf der Ordinate befindet sich die Konzentration. In dieser Abbildung werden die Ergebnisse aus den Versuchen I, III und IV zusammen dargestellt.

Für die Versuche I und III ist es möglich, eine Kurvenanpassung auf Basis der erhobenen Werte durchzuführen. In Versuch I werden höhere Konzentrationswerte erreicht, da die maximale Sohlschubspannung in diesem Versuch bei $0,4 \text{ N/m}^2$ lag. Bei Versuch III kamen Forellen zum Einsatz somit lag die maximale Sohlschubspannung bei $0,3 \text{ N/m}^2$. Obwohl die maximalen Sohlschubspannungen verschieden waren, kann ein charakteristischer Verlauf erkannt werden. Für Versuch IV konnte keine Kurvenanpassung durchgeführt werden, da sich nach der Auswertung der Trübungsmessungen und den dazugehörigen Konzentrationswerten eine Punktwolke ergeben hat. Die erhöhte Lagerungszeit von vier Wochen bei Versuch IV führt zu einem erhöhten Erosionswiderstand.

In Abbildung wird der Zusammenhang zwischen der Sohlschubspannung und der Konzentration dargestellt. Wieder sind die Versuche I, III und IV dargestellt. Alle drei Kurven zeigen eine Hysterese. Durch die Hysterese wird der zeitliche Verlauf der Konzentration in Abhängigkeit von der Sohlschubspannung verdeutlicht. Die maximale Sohlschubspannung ist hierbei vom Testmodus abhängig. Die verschiedenen Versuche zeigen den gleichen charakteristischen Verlauf. Die erkennbaren Unterschiede sind in den unterschiedlichen Randbedingungen (maximale Sohlschubspannung, Lagerungszeit des Sediments, Fischeinsatz) begründet. Bei Versuch I und III steigt die Konzentration

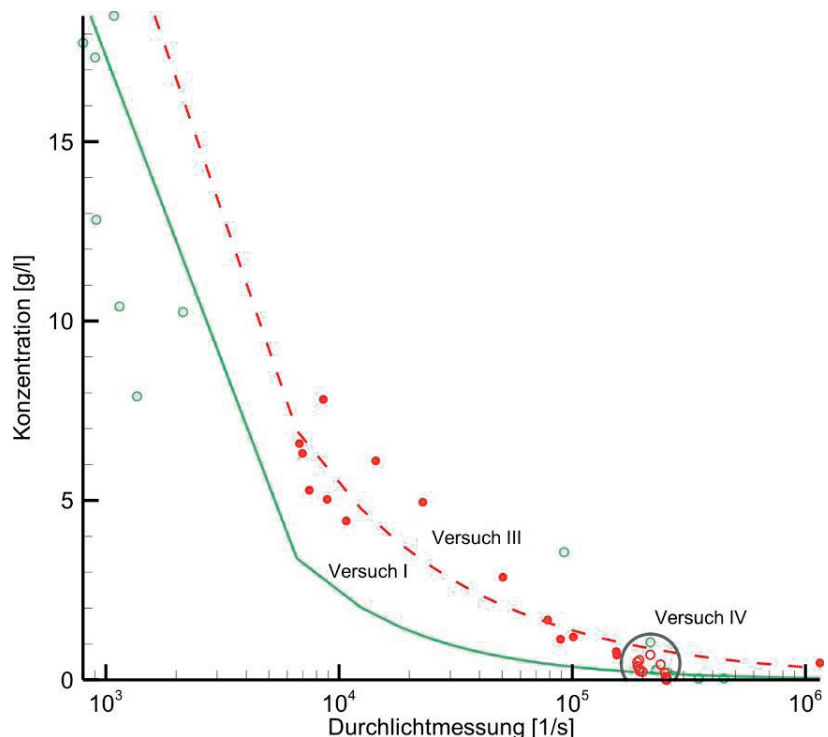


Abbildung 9: Vergleich des Konzentrationsverlaufs in den Versuchen I, III und IV

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbelasteter Sedimente im Kreisgerinne

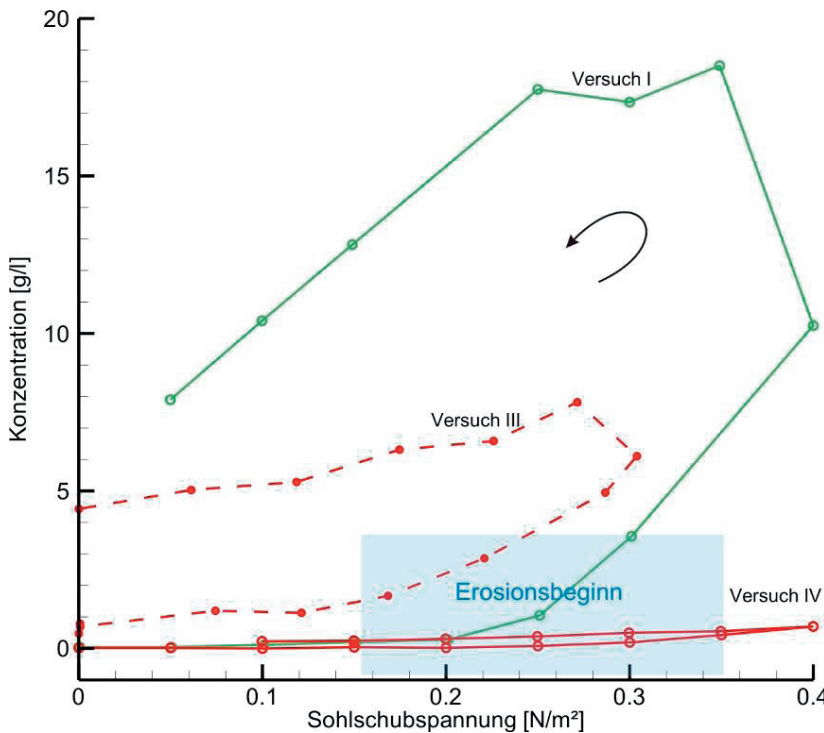


Abbildung 10: Vergleich der Konzentrationsverläufe über die Sohlschubspannungen in den Versuchen I, III und IV

mit zunehmender Sohlschubspannung an. Mit dem Überschreiten der kritischen Sohlschubspannung steigt die Schwebstoffkonzentration weiter, obwohl die maximale Sohlschubspannung bereits überschritten wurde. Mit der abklingenden Hochwasserwelle sinken die Schwebstoffkonzentrationen. Zum Versuchsende liegt die Endkonzentration deutlich oberhalb der Startkonzentration. Versuch III beginnt mit einer Initialkonzentration von $C = 0,4 \text{ g/l}$, dies kann auf das Schwimmverhalten der Fische zurückgeführt werden, die durch ihre Flossenbewegungen Sediment aufwirbeln. Obwohl beide Sedimentchargen die gleiche Lagerungszeit von zwei Wochen hatten, liegt die maximale Sohlschubspannung bei Versuch I mit $C = 18,50 \text{ g/l}$ deutlich oberhalb der maximalen Konzentration von $C = 7,81 \text{ g/l}$ bei Versuch III. Dies zeigt, dass der Reduzierung der Sohlschubspannung in den Versuchen mit Fischen einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung des Schwebstofftransports haben. Da in diesem Projekt keine gesonderten Untersuchungen zum Transportverhalten des Sediments vorgesehen waren, kann nur mit Hilfe der Abbildung 10 eine grobe Einschätzung der kritischen Sohlschubspannung gegeben werden. Für Versuch I und III liegt die kritische Sohlschubspannung im Bereich $0,15 \text{ N/m}^2 < \tau < 0,25 \text{ N/m}^2$.

Für Versuch IV lassen sich offensichtliche Unterschiede zu den restlichen Versuchen erkennen. Wie zuvor genannt, betrug die Lagerungszeit des Sediments in diesem Versuch vier Wochen. Die zusätzlichen Wochen veränderten die Sedimentcharakteristik nachhaltig. Der Erosionswiderstand nahm zu, so dass angenommen wird, dass die kritische Sohlschubspannung in einem Größenbereich von $0,25 \text{ N/m}^2 < \tau < 0,35 \text{ N/m}^2$ liegt.

Qualitative Auswertung auf Basis von Foto- und Videodokumentationen:

Neben den Trübungsmessungen und den Probenahmen lassen sich aus Beobachtungen qualitative Aussagen bezüglich der allgemeinen Transporteigenschaften des Sediments im Kreisgerinne treffen. Während der Versuche zeigte sich, dass sich das künstliche Sediment unmittelbar mit der beginnenden Belastung in seine einzelnen Bestandteile entmischte. Das verwendete Kaolin erodiert zuerst und bewegt sich fortan als Schwebstoff in der Wassersäule, was durch die Trübung erkennbar wird. Beim Torf lässt sich beobachten, dass die fein gemahlten Partikel zuerst flocken und anschließend sedimentieren. Als Schwebstoff sind dann nur noch einzelne größere Torfpartikel zu beobachten, die sich an der Deckelunterkante befinden und eher als Schwimmstoff zu charakterisieren sind. Der Quarzsand bewegt sich ausschließlich als Geschiebe auf der Sohle fort und kommt während des gesamten Versuchsablaufs nicht in Schwebelage (Torfs et al., 1996). Aufgrund der wirkenden Fliehkräfte wird das Geschiebe an die Außenwand des

Kreisgerinnes getrieben.

Die Beobachtungen aus Versuchen ohne Fische unterscheiden sich zu denen aus Versuchen mit Fischen. Die Forellen haben bedingt durch ihre Körpergröße von $190 \pm 22 \text{ mm}$ und die geringe Wassertiefe von $h = 175 \text{ mm}$ einen maßgeblichen Einfluss auf die Sohlenstruktur. Zwar bilden sich auch in diesem Versuch Sohlenstrukturen aus, doch sind diese wesentlich niedriger im Vergleich zu Versuch I. Sie erreichen eine mittlere Höhe von $1,5 \text{ cm}$. Mit abnehmender Belastung zerstören die Forellen durch ihren Flossenschlag jegliche Sohlenstrukturen. Abbildung 11 und Abbildung 12 ist zu entnehmen, dass die Sohlenstruktur in dem Versuch ohne Fische stärker ausgeprägt ist. Durch die Forellen lässt sich in den Abbildungen 12 a) – c) erkennen, dass die Sohlenstrukturen deutlich flacher sind und gegen Ende des Versuchs eine gleichmäßig verteilte sedimentierte Schicht zu erkennen ist. Da unter natürlichen Bedingungen das Verhältnis von aquatischen Organismen zu Sohlenstrukturen kleiner ist, können diese Beobachtungen nicht auf Naturereignisse übertragen werden.

Ähnlich wie bei der Auswertung der Konzentrationswerte unterscheiden sich die Beobachtungen für Versuch IV zu den vorangegangenen Versuchen. Die Versuchsvorbereitungen für diesen Versuch haben die reguläre Lagerungszeit von zwei Wochen überschritten. Bis zum Einbau in das Kreisgerinne hatte das Sediment ein Alter von vier Wochen erreicht und seine Konsistenz stark verändert. Wie bereits die Auswertung der Konzentration gezeigt hat, zeigt sich das Sediment deutlich erosionsresistenter.

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbehafteter Sedimente im Kreisgerinne

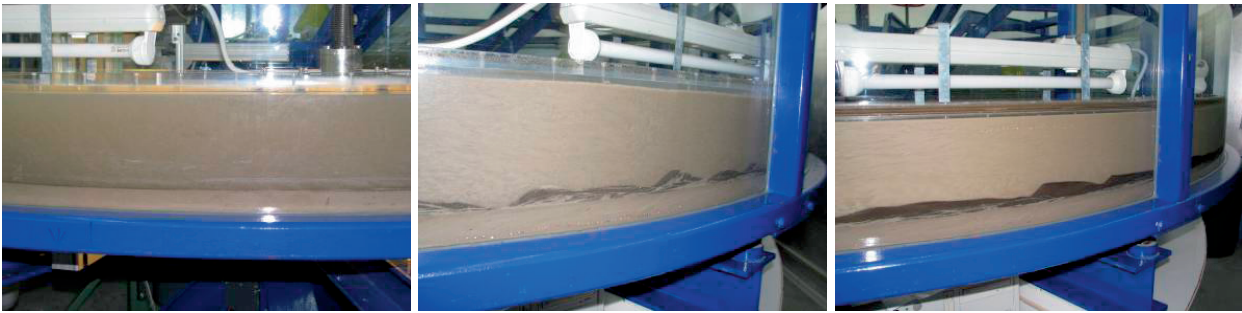


Abbildung 11: Entwicklung der Sohle ohne Fischbesatz a) Versuchsbeginn $\tau = 0,05 \text{ N/m}^2$, b) maximale Belastung $\tau = 0,4 \text{ N/m}^2$, c) Versuchsende $\tau = 0,1 \text{ N/m}^2$



Abbildung 12: Entwicklung der Sohle bei Fischbesatz: a) Versuchsbeginn $\tau = 0,0 \text{ N/m}^2$, b) maximale Belastung $\tau = 0,3 \text{ N/m}^2$, c) Versuchsende $\tau = 0,1 \text{ N/m}^2$



Abbildung 13: Entwicklung der Sohlenstruktur und Trübung bei Versuch IV bei $\tau = 0,3 \text{ N/m}^2$

Es wird angenommen, dass die Lagerungszeit einen signifikanten Einfluss auf das Transportverhalten des Sediments nimmt (Gerbersdorf et al., 2007). Die Vorbereitung und Lagerungszeit des Sediments sollte in folgenden Studien konstant gehalten werden, da sonst die Vergleichbarkeit der Ergebnisse nicht gegeben ist.

4.4 Ökotoxikologische Ergebnisse

Regenbogenforellen sind geeignete Testtiere für die Untersuchungen im Kreisgerinne und die Analyse verschiedenster Endpunkte. Die Fische überlebten die hundertzwanzigstündige Exposition im Kreisgerinne. Dies ist notwendig, um subletale Biomarker zu identifizieren. Für diese Untersuchungen wurden unterschiedliche histologische und biochemische Biomarker gewählt. Daher war es möglich unterschiedliche Effekte zu analysieren, die durch die Schadstoffe ausgelöst werden. Die Biomarker wurden wegen ihrer hohen Sensibilität bzgl. PAK-Kontamination gewählt. Die folgenden Biomarker waren sensitiv:

- Lipidperoxidation
- Bildung von Mikrokernen in peripheralen Erythrozyten
- Bildung von PAK Metaboliten in der Galle

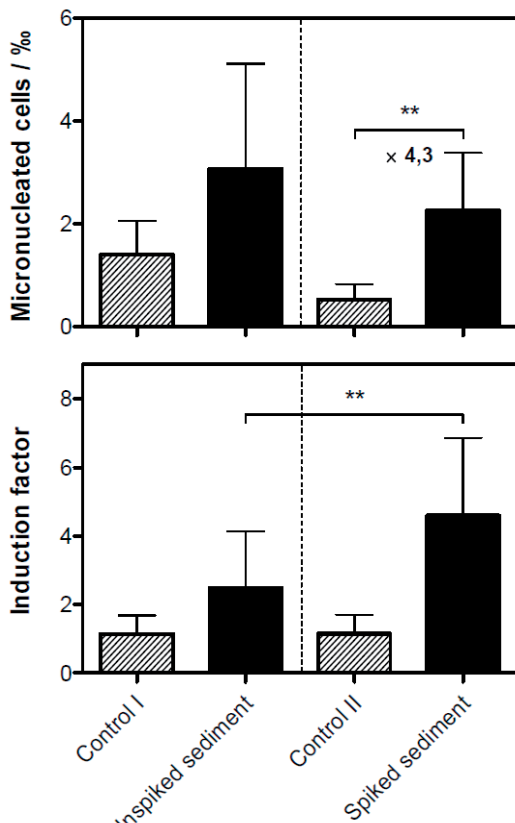


Abbildung 14: Mikrokern Frequenz in peripheralen Erythrozyten von Regenbogenforellen

Die Ergebnisse zur Bildung von Mikrokernen ist in Abbildung wiedergegeben. Die obere Abbildung gibt die absoluten Zahlenwerte der Analyse an, nachdem die Forellen ($n = 15$) 120 Stunden dem belasteten Material ausgesetzt waren. Die untere Abbildung hingegen gibt den Induktionsfaktor relativ zum Median. Neben den untersuchten Fischen aus dem Kreisgerinne wurde auch immer eine Kontrollgruppe von 15 Tieren untersucht. Die Kontrollgruppe wird aus der Hälterung entnommen und untersucht. Im Vergleich wird deutlich, dass die Anzahl an Mikrokernen in den Fischen aus dem Kreisgerinne höher war. Auch der Induktionsfaktor steigt an im Vergleich zur jeweiligen Kontrollgruppe.

Die drei restlichen Biomarker zeigten keine signifikanten Ergebnisse nach der Exposition im Kreisgerinne:

7-Ethoxyresorufin-O-Deethylase (EROD)

Glutathion-S-Transferase (GST)

Catalase (CAT)

In der Folgestudie FLOODSEARCH II ist die Verwendung von natürlichen Sedimenten geplant. Daher müssen auch die Biomarker angepasst werden (Brinkmann et al., 2010).

5. Diskussion

Das Hauptziel der Machbarkeitsstudie FLOODSEARCH ist die Durchführung gekoppelter hydrodynamischer und ökotoxikologischer Experimente. Dadurch soll das Verständnis der Interaktionen zwischen Sedimentdynamik, Schadstoffen und aquatischen Organismen verbessert werden.

Die Messtechnik am Kreisgerinne musste an die neuen Anforderungen angepasst werden. Während der Versuche ist es möglich, die Trübung, den pH-Wert, den Sauerstoffgehalt und die Temperatur zu messen. Außerdem werden im Testbetrieb automatisch Proben der Suspension entnommen. Weiterhin wurden ein Kühlsystem und eine Sauerstoffversorgung nachgerüstet. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass es möglich ist, hydrotoxische Experimente im Kreisgerinne durchzuführen. Für die Folgeuntersuchungen wird das Kühlsystem insofern erweitert, als das der ganze Raum, in dem das Kreisgerinne steht, gekühlt wird. So kann auch eine Videoüberwachung realisiert werden.

Um naturnahen Bedingungen im Kreisgerinne noch näher zu kommen, ist geplant, natürliches Sediment einzusetzen. Reines Kaolinit wird nach wie vor als Referenzmaterial zum Einsatz kommen. Es wird das Transportverhalten von natürlichen kohäsiven unbelasteten sowie belasteten Sedimenten untersucht und verglichen. Hierbei ist es wichtig, den Erosionswiderstand, die kritische Sohlschubspannung als auch die Deposition zu charakterisieren.

Die Auswirkungen von Strömungsereignissen (z.B. Hochwasser) und Wasser/Sedimentqualität sind nicht ausreichend bekannt. Um die einzelnen Stressfaktoren zu identifizieren, werden sie in verschiedenen Experimenten voneinander getrennt. Auch wird der Einfluss auf unterschiedliche Spezies (Muscheln, Schnecken) untersucht. Hierbei gilt es, weitere Biomarker zu analysieren, die an das natürliche Sediment mit den unterschiedlichen Toxizitäten angepasst sind. Hinzukommend soll mit der Untersuchung der Bioakkumulation die Annahme gestützt werden, dass kurzzeitige Expositionen gegenüber Partikel gebundenen Schadstoffen zu einer vermehrten Körperbelastung führt.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen des Pathfinder Projektes FLOODSEARCH wurde der experimentelle Nachweis geführt, dass eine kombinierte hydromechanisch-ökotoxikologische (hydrotoxische) Untersuchung im Kreisgerinne machbar und Ziel führend ist. Dazu wurde das Kreisgerinne des IWW hinsichtlich der installierten Messtechnik sowie der Betriebs- und Regelungstechnik zur Durchführung der hydro-toxisch gekoppelten Tests deutlich erweitert und optimiert (z.B. geregelte Kühlung, verbesserte automatisierte Probennahme bei hohen Feststoffgehalten, Sauerstoffzufuhr, pH-, Temperatur- und O_2 -Messung, Online-Durchlichtmessung, WLAN - Datenfernübertragung von dem rotierenden Gerinne). Zur Simulation der Hochwasserereignisse unter reproduzierbaren Laborbedingungen wurde als synthetisches Hochwasserszenario eine standardisierte Hochwasserwelle nach der DIN 4049-3 gewählt und an die erforderlichen Sohlschubspannungen im Kreisgerinne angepasst. Zur Nachbildung einer erodierbaren Sohle kam künstliches

multifractionelles Standardsediment nach der OECD-Richtlinie 218 zum Einsatz. Zusätzlich zum aufwändigen Herstellungsprozess wurde das Sediment in einigen Versuchen mit Schadstoffen (PAKs) geimpft. Zielsetzung dieser Vorgehensweise war die Schaffung reproduzierbarer, möglichst naturnaher und kontrollierbarer Versuchsbedingungen. Unter so definierten Bedingungen wurden dann die hydromechanischen Untersuchungen im Kreisgerinne durchgeführt (Morphodynamik, Sohlschubspannungen, Messungen), um anschließend auf der Grundlage von ökotoxikologischen Testverfahren (Biotests, Biomarker), die Effekte der partikel-gebundenen Schadstoffe in den Regenbogenforellen zu detektieren. Alle Forellen haben die Exposition im Kreisgerinne mit unbelasteten und schadstoffbelasteten Sedimenten während einer fünftägigen simulierten Hochwasserwelle überlebt. Die eigens dafür getroffenen (z.T. lebenserhaltenden) Maßnahmen wie Kühlung des Wassers auf ca. 13°C, Einblasen von Sauerstoff über einen Sprudelstein und Einhaltung eines Tag-Nacht-Zyklus waren demnach erfolgreich. Durch das stufenweise Vorgehen konnte vielen auftretenden Problemen, wie z. B. den hohen Schwebstoffkonzentrationen oder den Anforderungen und Verhaltensweisen der exponierten Fische, rechtzeitig begegnet werden. So musste der gesamte Kühlkreislauf strömungstechnisch umgestaltet werden, damit das Sediment das Aggregat nicht verstopft und zu Vereisung führt. Die Kreispumpe und abraisierte Ventile wurden ersetzt. Außerdem wurden die Forellen durch Rechenkörbchen und Diffusoren an den Messzugängen vor Verletzungen durch Ansaugen geschützt, nachdem ein Tier verletzt wurde. Mittels dieser Herangehensweise konnten im „Pathfinder Projekt“ erstmals kontrollierte experimentelle Bedingungen für eine interdisziplinäre Betrachtung der physikalischen, chemischen und biologischen Parameter sowie deren Interaktion geschaffen werden. Die Verbindung der Expertisen der beiden Partnerinstitute IWW und IUF sollen das Forschungsgebiet der Hochwasserfolgenbewertung nachhaltig bereichern und als interdisziplinäre Arbeitsgruppe dabei helfen, die Einflüsse von Sedimentdynamik und Sedimentqualität in Hinblick auf aquatische Organismen zu erkennen und zu bewerten.

Nach dem erfolgreichen Abschluss der Machbarkeitsstudie FLOODSEARCH I konnte in einem weiteren themenoffenen Aufruf („Open Call“) die Finanzierung für das Boost-Fund Projekt FLOODSEARCH II erworben werden. Das Folgeprojekt bietet die Möglichkeit weitere drei Jahre die Fragestellungen zur Hochwasserfolgenbewertung vor dem Hintergrund der Interaktion von Sediment, Schadstoff und Biota zu untersuchen.

7. Danksagung

Die Autorin und ihre Kollegen möchte sich auf diesem Weg beim Steering Committee und Dr. Elke Müller vom Exploratory Research Space @ RWTH Aachen (ERS) für die Förderung des Pathfinder Projekts FLOODSEARCH bedanken. ERS ist Teil der Exzellenzinitiative an der RWTH Aachen.

Literatur

Brinkmann, M.; Hudjetz, S.; Cofalla, C.; Roger, S.; Kammann, U.; Giesy, J.; Hecker, M.; Wiseman, S.; Zhang, X.; Wölz, J.; Schüttrumpf, H. u. Hollert, H. (2010): Assessment of the toxicological relevance of re-

suspended sediments during simulated flood events in fish - Part I: A multiple biomarker approach. In: *Journal of Soils and Sediments*,

DIN 4049-3 (1992): *Hydrologie, Teil 3: Begriffe zur quantitativen Hydrologie*. Berlin: Beuth

EU (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy

EU (2001): Decision No 2455/2001/EC of the European Parliament and of the Council of 20 November 2001 establishing the list of priority substances in the field of water policy and amending Directive 2000/60/EC

Gerbersdorf, S.; Jancke, T. u. Westrich, B. (2007): Erosion Risk of Contaminated Riverine Sediment. In: *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 7, No. 1, pp. 25-35. - ISSN 1439-0108

Hollert, H.; Dürr, M.; Haag, I.; Wölz, J.; Hilscherova, K.; Blaha, L. u. Gerbersdorf, S. (2008): Influence of Hydrodynamics on Sediment Ecotoxicity. In: *Sediment Dynamics and Pollutant Mobility in Rivers* / Ed. B. Westrich [et al.]. Heidelberg: Springer, pp. 401 - 416.

Mitchener, H. u. Torfs, H. (1996): Erosion of mud/sand mixtures. In: *Coastal Engineering*, Vol. 29, No. 1-2, pp. 1-25. - ISSN 0378-3839

OECD (2004): OECD Guideline 218 - Sediment-Water Chironomid Toxicity Test Using Spiked Sediment

Parchure, T. M. u. Mehta, A. J. (1985): Erosion of Soft Cohesive Sediment Deposits. In: *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 11, No. 10, pp. 1308-1326. - ISSN 0733-9429

Schweim, C. (2005): *Modellierung und Prognose der Erosion feiner Sedimente*. Aachen: Fakultät für Bauingenieurwesen der RWTH Aachen (Dissertation)

Spork, V. (1997): *Erosionsverhalten feiner Sedimente und ihre biogene Stabilisierung* [in German]. Aachen: Mainz (Technische Hochschule Aachen / Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft: Mitteilungen; 114.) - ISBN 3-89653-614-1

Torfs, H.; Mitchener, H. u. Huysentruyt, H. (1996): Settling and consolidation of mud/sand mixtures. In: *Coastal Engineering*, Vol. 29, pp. 27-45.

UBA (18-12-2009): ETOX database (<http://webetox.uba.de>) of the German Federal Environment Agency (UBA).

Wölz, J.; Cofalla, C.; Hudjetz, S.; Roger, S.; Brinkmann, M.; Schmidt, B.; Schäffer, A.; Kammann, U.; Lennartz, G.; Hecker, M.; Schüttrumpf, H. u. Hollert, H. (2009): In search for the ecological and toxicological relevance of sediment re-mobilisation and transport during flood events. In: *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 9, No. 1, pp. 1-5. - ISSN 1439-0108 (Print); 1614-7480 (Online); (Impact Factor: 2006=0, 2007=4.373, 2008=2.797)

Zanke, U. (1982): *Grundlagen der Sedimentbewegung*. Berlin: Springer - ISBN 3-540-11672-9

6. Baggerung

Floodsearch - Hydrotoxische Untersuchungen schadstoffbelasteter Sedimente im Kreisgerinne

Verfasser

Dipl.-Ing. Catrina Cofalla
RWTH Aachen
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Mies-van-der-Rohe-Strasse 1, 52056 Aachen
Telefon: 0241/80 97778
E-Mail: cofalla@iww.rwth-aachen.de

Dipl.-Ing. Sebastian Roger
RWTH Aachen
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Kreuzherrenstrasse 7, 52056 Aachen
Telefon: 0241/80 93938
E-Mail: roger@iww.rwth-aachen.de

Markus Brinkmann
RWTH Aachen, Institut für Umweltforschung
Worringerweg 1, 52074 Aachen
Telefon: 0241/80-26686
E-Mail: markus.brinkmann@bio5.rwth-aachen.de

Sebastian Hudjetz
RWTH Aachen, Institut für Umweltforschung
Worringerweg 1, 52074 Aachen
Telefon: 0241/80-26686
E-Mail: hudjetz@bio5.rwth-aachen.de

Prof. Dr. rer. nat. Henner Hollert
RWTH Aachen, Institut für Umweltforschung
Worringerweg 1, 52074 Aachen
Telefon: 0241/80-26669
E-Mail: henner.hollert@bio5.rwth-aachen.de

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Holger Schüttrumpf
RWTH Aachen
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Mies-van-der-Rohe-Strasse 1, 52056 Aachen
Telefon: 0241/80 25262
E-Mail: schuettrumpf@iww.rwth-aachen.de