

## **Projekt Umweltwissenschaften**

### **Weiterführende Untersuchungen der fischdurchgängigen Krebsbarriere mit dem Roten Amerikanischen Sumpfkrebs**

von

Philipp Waldhoff

Bastian Rösler

Projekt Umweltwissenschaften

Fachhochschule Ostwestfalen-Lippe

Standort Höxter

Herr Prof. Dr. Rathke

Höxter, 31.03.2013

---

# Inhalt

1. Einleitung.....	7
1.1. Ausgangslage und Problemstellung .....	7
1.2. Zielsetzung .....	7
1.3. Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit im Sinne der WRRL .....	8
1.4. Auswirkung der ökologischen Durchgängigkeit auf die Ausbreitung von Neozoen.....	8
1.5. Der europäische Edelkrebs und dessen Gefährdung .....	9
1.6. Roter Amerikanischer Sumpfkrebs ( <i>Procambarus clarkii</i> ) .....	11
2. Laborversuche .....	13
2.1. Allgemein.....	13
2.2. Gruppenaufteilung .....	14
2.3. Hälterung.....	15
3. Krepssperre .....	16
4. Versuchsaufbau in der Kippbinne.....	17
5. Versuchsdurchführung.....	21
5.1. Allgemein.....	21
5.2. Versuch 1 .....	21
5.3. Versuch 2 .....	22
5.4. Versuch 3 .....	23
5.5. Versuch 4 und 5 .....	27
6. Numerische Darstellung der Versuche .....	30
6.1. Allgemein.....	30
6.2. Erstellung der numerischen Darstellung.....	30
6.3. Versuch 1 .....	33
6.4. Versuch 2 .....	35
6.5. Versuch 3 .....	37
6.6. Versuch 4 und 5 .....	39
7. Ergebnis Diskussion .....	41
8. Quellenverzeichnis .....	43
Anhang .....	I

Anhang I – Versuchsprotokoll 1 .....	II
Anhang II – Versuchsprotokoll 2 .....	III
Anhang III – Versuchsprotokoll 3 .....	IV
Anhang IV – Versuchsprotokoll 4.....	V
Anhang V – Versuchsprotokoll 5.....	VI
Anhang VI Bilder Versuch 1 .....	VII
Anhang VII Bilder Versuch 2 .....	VIII
Anhang VIII Bilder Versuch 3.....	IX
Anhang IX Bilder Versuch 4 und Versuch 5.....	X
Anhang X DVD Bilder und Videos der Versuche .....	XI

## Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1 Wiegen der Krebse.....	13
Abb. 2-2 Geschlechtsbestimmung .....	13
Abb. 2-3 Behälter .....	15
Abb. 2-4 Sumpfkrebs in Behälter .....	15
Abb. 3-1 Krebssperrre .....	16
Abb. 4-1 Versuchsaufbau in Kipprinne.....	17
Abb. 4-2 Starkammer .....	18
Abb. 4-3 Versuchstiere in Kipprinne.....	18
Abb. 4-4 PE-Rohr mit Köder .....	18
Abb. 4-5 Köder eingebaut .....	18
Abb. 4-6 Versuchsaufbau .....	19
Abb. 4-7 regelbares Wehr .....	19
Abb. 4-8 Aufbau Kamera1 .....	20
Abb. 4-9 Aufbau Kamera2.....	20
Abb. 5-1 Schräge Überquerung .....	22
Abb. 5-2 Mehrere Tiere auf der Rampe .....	23
Abb. 5-3 Krebse auf der Rampe .....	25
Abb. 5-4 Krebs nach Überwindung der Rampe.....	25
Abb. 5-5 Überquerung aus einer anderen Perspektive .....	26
Abb. 5-6 Überquerung durch schwimmen.....	26
Abb. 5-7 Krebs an Kante (Endkammer) .....	27
Abb. 5-8 Kämpfe vor Rampe.....	29
Abb. 5-9 Überquerung durch schwimmen.....	29
Abb. 6-1 3D-Rechennetz .....	31
Abb. 6-2 3D-Modell Versuch 1 .....	33
Abb. 6-3 Schnitt Versuch 1 .....	34
Abb. 6-4 3D-Modell Versuch 2 .....	35
Abb. 6-5 Schnitt Versuch 2 .....	36
Abb. 6-6 3D-Modell Versuch 3 .....	37
Abb. 6-7 Schnitt Versuch 3 .....	38

Abb. 6-8 3D-Modell Versuch 4 und Versuch 5 .....	39
Abb. 6-9 Schnitt Versuch 4 und Versuch 5 .....	40
Abb. 9-1 Versuch 1 Detailaufnahme Sohle .....	VII
Abb. 9-2 Versuch 1 Detailaufnahme Kriebssperre .....	VII
Abb. 9-3 Versuch 2 Detailaufnahme Sohle .....	VIII
Abb. 9-4 Versuch 2 Detailaufnahme Kriebssperre .....	VIII
Abb. 9-5 Versuch 3 Detailaufnahme Sohle .....	IX
Abb. 9-6 Versuch 3 Detailaufnahme Kriebssperre .....	IX
Abb. 9-7 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme Sohle .....	X
Abb. 9-8 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme Kriebssperre .....	X

## Tabellenverzeichnis

Tab. 2.2-1 Gruppe 1 .....	14
Tab. 2.2-2 Gruppe 2 .....	14
Tab. 5.2-1 Versuch 1 Übersicht .....	21
Tab. 5.3-1 Versuch 2 Übersicht .....	22
Tab. 5.4-1 Versuch 3 Übersicht .....	24
Tab. 5.5-1 Versuchsreihe Kriebssperre .....	28
Tab. 6.2-1 Abmessungen .....	30
Tab. 6.2-2 Rauheiten (D.HERMANN 2011) .....	32

## Abkürzungsverzeichnis

3D	3-Dimensional
Abb.	Abbildung
cm	Zentimeter
FH	Fachhochschule
g	Gramm
h	Stunde
l/s	Liter pro Sekunde
m	Meter
M	männlich
m/s	Meter pro Sekunde
Nr.	Nummer
OW	Oberwasser
PE	Polyethylen
RWTH	Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen
Tab.	Tabelle
UW	Unterwasser
v	Fließgeschwindigkeit
Vgl.	Vergleiche
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
z.B.	Zum Beispiel

# 1. Einleitung

## 1.1. Ausgangslage und Problemstellung

Durch die Umsetzung der europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) wird in Deutschlands Fließgewässern die ökologische Durchgängigkeit wiederhergestellt. Diese Maßnahmen können allerdings, neben vielen positiven Aspekten, auch negative Begleiterscheinungen haben. Dazu zählt die unerwünschte Verbreitung tierischer Invasoren, den sogenannten Neozoen.

So sind besonders die heimischen Flusskrebsarten durch amerikanische Flusskrebse als Überträger der Krebspest (*Aphanomyces astaci*) erheblich bedroht. Hinter dem Begriff Krebspest verbirgt sich eine tödliche Pilzerkrankung bei Flusskrebsarten nicht-amerikanischen Ursprungs, während die Amerikanischen Krebse dagegen als nachweislicher Hauptüberträger resistent sind.

Werden nun im Rahmen der Renaturierungsmaßnahmen die für Krebse unpassierbare Querbauwerke entfernt, sind die heimischen Edelkrebsbestände den gebietsfremden Arten und somit der Krebspest schutzlos ausgeliefert. Um diesen Konflikt zwischen der geforderten ökologischen Durchgängigkeit und dem Schutz der heimischen Edelkrebspopulationen zu lösen, kann eine selektive Barriere möglicherweise Abhilfe schaffen. Sie soll den ungehinderten Fischeaufstieg gewährleisten, jedoch gleichzeitig als Wanderbarriere für gebietsfremde Flusskrebsarten dienen.

## 1.2. Zielsetzung

Aufbauend auf bereits durchgeführten Laboruntersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse (Susanne Vaeßen, RWTH Aachen, 2010) wurde im Rahmen der Bachelorarbeit „Entwicklung einer fischdurchgängigen Krebsbarriere“ (Denise Hermann, FH Höxter, 2011) bereits eine Krebsbarriere entwickelt und im Laborversuch

getestet. Die in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen mit dem Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*) sollten nun auf den *Roten Amerikanischen Sumpfkrebs* (*Procambarus clarkii*) ausgeweitet werden.

### **1.3. Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit im Sinne der WRRL**

Die ökologische Durchgängigkeit nach WRRL umfasst die auf- und abwärts gerichtete Durchlässigkeit des Systems „Fluss“. Dies gilt für wandernde aquatische Organismen (Fische, Wirbellose) aber auch für Sedimente deren Durchlässigkeit oftmals durch Querbauwerke wie Stauanlagen oder Schleusen gestört ist. Speziell für Fließgewässer sind Fische und das Makrozoobenthos gemäß der WRRL Indikatoren für den ökologischen Zustand, da eine wesentliche Voraussetzung für eine erfolgreiche Entwicklung von lebensfähigen Populationen Wanderungen zwischen unterschiedlichen Lebensräumen ist (Laich-, Nahrungs- und Winterhabitate). Ist die ökologische Durchgängigkeit eines Gewässers nicht gegeben, müssen geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um sie zu gewährleisten. Das bedeutet im Idealfall den Rückbau dieser Querbauwerke und dort, wo dies nicht durchgeführt werden kann, ist die Errichtung von Fischwanderhilfen oder Umgehungsgerinnen ein in der Praxis häufig angewandtes Mittel zur Verbesserung der Durchgängigkeit der Gewässer.

### **1.4. Auswirkung der ökologischen Durchgängigkeit auf die Ausbreitung von Neozoen**

Die Wanderhindernisse in unseren Flüssen und Bächen haben trotz ihrer negativen Auswirkungen auch eine Schutzfunktion. So können durch Aquakultur, Besatz oder Schifffahrt eingeschleppte und in unserem Ökosystem unerwünschte Arten an einer Ausbreitung gehindert werden. Die angestrebte ökologische Durchgängigkeit verknüpft nun Gewässersysteme und

Lebensräume miteinander sodass nun auch für Neozoen die Möglichkeit besteht bis in die Oberläufe unserer Gewässer vorzudringen. Zwar stellen nicht alle gebietsfremde Arten eine Bedrohung für unser heimisches Ökosystem dar, jedoch können einige Arten sich durch Vermehrung intensiv ausbreiten, autochthone Arten verdrängen oder mit Krankheiten infizieren und mitunter sogar wirtschaftlichen und gesundheitlichen Schaden für den Menschen nach sich ziehen. [LFU 2005]

In diesem Fall sprechen wir von invasiven Arten – zu diesen zählen auch die amerikanischen Flusskrebse. [NENTWIG 2010]

### **1.5. Der europäische Edelkrebs und dessen Gefährdung**

In Deutschland gibt es drei autochthone Vertreter der Flusskrebse: den Edelkrebs (*Astacus astacus*), welcher auch als europäischer Flusskrebs bezeichnet wird, den Steinkrebs (*Austropotamobius torrentium*) und den Dohlenkrebs (*Austropotamobius pallipes*).

Während vor allem der Edelkrebs bis zum 19. Jahrhundert ein in Europa durch reichhaltige Bestände weitverbreitetes Nahrungsmittel war, sind diese Krebsarten heutzutage streng geschützt und vom Aussterben bedroht. Der massive Rückgang der Bestände kann auf verschiedene Gründe zurückgeführt werden.

Der voranschreitende Gewässerausbau führte zum Verlust geeigneter Lebensräume und die zunehmende Verunreinigung der Gewässer durch häusliche, landwirtschaftliche und industrielle Abwässer dezimierten die empfindlichen Tiere zusätzlich. [MUNLV NRW 2007]

Auch ein erhöhter oder verfremdeter Fischbesatz (z.B. Aal) durch fischereiwirtschaftliche Maßnahmen sorgte vor allem in den Stillgewässern für einen extremen Rückgang der Flusskrebspopulation. [BEINLICH 2009]

Hauptauslöser dieser Entwicklung war aber zweifelsohne die aus Amerika eingeschleppte Krebspest (*Aphanomyces astaci*) die erstmals 1860 in Europa aufkam.

Dieser eingeschleppte Fadenpilz kann zum Erlöschen ganzer Krebspopulationen führen. Die Infektionsquelle sind erkrankte und tote einheimische Krebse sowie die überwiegend resistenten, nicht einheimischen Krebse. Übertragungen sind aber auch mit Fischen aus Krebspest verseuchten Gebieten oder mit kontaminierten Gerätschaften (Stiefel, Kleider, Netze etc.) möglich. Der Pilz überlebt sehr lange auf toten Krebsen und produziert schwimmfähige Zoosporen welche im Wasser bis zu 16 Tagen überlebensfähig sind. Kommen die Sporen mit europäischen Krebsen in Kontakt, dringen sie durch den Krebspanzer in die darunter liegende Haut. Die befallenen Tiere sterben innerhalb weniger Tage. [BEINLICH 2009], [BVET]

Trotz des massiven Ausfalls der heimischen Flusskrebse hielt die fischereiliche Nachfrage an. Um dieser nachkommen zu können, führte man im immer größerem Umfang gebietsfremde Flusskrebse ein. Erst durch das regelmäßige Entkommen der gebietsfremden Krebse aus Zuchtanlagen und dem teilweise gezielten Besatz der Gewässer konnte sich die Krebspest dauerhaft in Europa etablieren. [NENTWIG 2010]

Im Wesentlichen wurden vier nicht heimische Flusskrebse in Deutschland eingebürgert und konnten sich verbreiten. Hierzu zählt der aus Südosteuropa stammende Galizische Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*), sowie der Kamberkreb (*Orconectes limosus*), der Signalkreb (*Pacifastacus leniusculus*) und der Rote Amerikanische Sumpfkreb (*Procambarus clarkii*), welche ursprünglich in Nordamerika beheimatet waren. Allein der Signalkreb und der Kamberkreb sind gegen die Krebspest resistent, fungieren allerdings als Überträger. [EDELKREBS NRW 2008]

Eine Ausbreitung von invasiven Flusskrebsearten sollte in jedem Fall unterbunden werden da auch selbst krebspestfreie amerikanische Flusskrebse durch aggressives Verhalten und höhere Reproduktionszahlen die einheimischen Arten verdrängen könnten. [MAIWALD 2007]

## 1.6. Roter Amerikanischer Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*)

Der *Rote Amerikanische Sumpfkrebs* ist ein höherer, zehnfüßiger Krebs (*Decapoda*) aus der Familie der „Amerikanischen Flusskrebse“ (*Cambaridae*). Sein Körper zeigt die typische Dreiteilung der zehnfüßigen Krebse in Kopf, Brust sowie dem gegliederten und beweglichen Hinterleib (Abdomen). Durch schnelles Einschlagen des Hinterleibes kann der Krebs rückwärtsgewandt schwimmend flüchten. Der *Rote Amerikanische Sumpfkrebs* erreicht eine Körperlänge (Kopfspitze bis Schwanzende) von bis zu 15 cm. Die erwachsenen Tiere sind an ihrer roten bis schwarzen Körperfärbung und den mit leuchtend roten Warzen besetzten Scheren gut zu erkennen. Jungtiere dagegen sind zu Beginn graubraun bis grünlich gefärbt. Daher sind die schlanke Gestalt, die sich berührenden Rückenfurchen und die S-förmig gebogenen Scheren wichtige Bestimmungsmerkmale dieser Krebsart. Im Aquarienhandel werden heute auch verschiedene Farbvarianten (orange, blau, weiß) angeboten.

Ursprünglich lebt der *Rote Amerikanische Sumpfkrebs* in Sümpfen der subtropischen Region. Er ist daher an extreme Verhältnisse im Hinblick auf Wassertemperatur und Wasserqualität angepasst und damit in der Lage, sehr viele unterschiedliche Lebensräume zu besiedeln. Die ursprüngliche Hoffnung, diese Art könnte in gemäßigten Breiten nicht überleben, hat dieser Flusskrebs klar widerlegt.

Das sehr schnelle Wachstum und die hohe Reproduktion des Roten Amerikanischen Sumpfkrebsses haben ihn zum wichtigsten Speisekrebs gemacht. Bei geeigneten Wassertemperaturen kann ein Weibchen mehrmals im Jahr bis zu 800 Eier produzieren. Da er ursprünglich auch in zeitweise austrocknenden Gewässern lebt, gräbt diese Krebsart lange und verzweigte Röhren, in denen sie die Trockenheit längere Zeit überdauern kann. Außerdem ist der Rote Amerikanische Sumpfkrebs ausgezeichnet in der Lage, längere Strecken über Land zurückzulegen, um so andere Gewässer zu erreichen. Daher sollte diese Art in keinem Fall in Gartenteichen ausgesetzt werden.

Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet dieser Art ist der Südwesten der USA und das nördliche Mexiko. Von dort ist die Art aber in der gesamten USA

verbreitet worden. Zur Speisekrebszucht wurde die Art auch in Südamerika, Europa, Afrika und Asien eingeführt.

Der Rote Amerikanische Sumpfkrebs ist im Gegensatz zum Signalkrebs nicht gezielt in Gewässer von NRW ausgesetzt worden. Seine in NRW nachgewiesenen Freilandpopulationen gehen vielmehr auf das unbedachte Aussetzen von Aquarientieren bzw. auf Gartenteichflüchtlinge zurück. Die Art wurde 1993 erstmalig in Nordrhein-Westfalen entdeckt. Mittlerweile liegen schon 18 Meldungen vor. Von einer landesweiten Verbreitung kann aber gegenwärtig noch nicht gesprochen werden. Ein deutlicher Verbreitungsschwerpunkt liegt im Tiefland. In Mittelgebirgsbächen ist die Art bisher nicht aufgetreten. [NEOBIOTA 2013]

## 2. Laborversuche

### 2.1. Allgemein

Um die Ergebnisse der Versuche untereinander vergleichen zu können wurden die 15 Versuchstiere möglichst gleichmäßig nach Größe und Gewicht in zwei Gruppen aufgeteilt, welche jeweils abwechselnd für die Versuche eingesetzt wurden. Hierzu wurden alle Versuchstiere gewogen und vermessen, sowie ihr Geschlecht bestimmt. In den Versuchen kamen ausschließlich männliche Tiere zum Einsatz. Die *Abbildung 2-2 Geschlechtsbestimmung* zeigt die Geschlechtsmerkmale eines männlichen amerikanischen Sumpfkrebs. Es wurde nicht bewusst auf den Besatz von Weibchen verzichtet. Im Vorfeld der Versuche wurden lediglich männliche Exemplare in den Reusen gefangen.



Abb. 2-1 Wiegen der Krebse



Abb. 2-2 Geschlechtsbestimmung

## 2.2. Gruppenaufteilung

Tab. 2.2-1 Gruppe 1

Gruppe1				
Nr.	Gewicht[g]	Geschlecht	Länge[cm]	Besonderheit
1	76,0	M	12,0	-
2	60,3	M	13,0	Nur eine Schere
3	35,0	M	11,0	-
4	41,4	M	11,5	Zwei Beine fehlen
5	40,2	M	10,8	-
6	32,1	M	10,6	-
7	56,1	M	13,0	-
8	28,8	M	10,6	-

Tab. 2.2-2 Gruppe 2

Gruppe2				
Nr.	Gewicht[g]	Geschlecht	Länge[cm]	Besonderheit
1	47,3	M	11,5	Nur eine Schere
2	48,6	M	11,5	-
3	36,3	M	10,6	-
4	56,0	M	13,0	Nur eine Schere
5	48,4	M	11,5	-
6	59,0	M	13,3	Nur eine Schere
7	17,7	M	8,5	-
8	-	-	-	-

### 2.3. Hälterung

Die nachfolgenden Abbildungen zeigen die Hälterung der Versuchstiere. Die Behälter der beiden Versuchsgruppen, sowie die Sohle der Start- und Endkammer wurden (siehe Abb. 3-1 *Krebssperre*) mit Kies ( $\leq 1$  cm) ausgelegt. Neben der Kiessohle wurden mehrere große Steine und Rohre in die Behälter gelegt um den Krebsen ausreichend Möglichkeiten zum Verstecken zu bieten. Die Sauerstoffzufuhr erfolgte 24h über eine Fritte. Über die Dauer der Versuchsreihe wurden die Sumpfkrebse nicht gefüttert.



Abb. 2-3 Behälter



Abb. 2-4 Sumpfkrebs in Behälter

### 3. Krepssperre

Die Sperre besteht aus einer geneigten Fläche (Rampe), sodass sie für Bodenfische, wie z.B. die Groppe (*Cottus gobio*), passierbar ist. Ein anschließender waagerechter Korridor dient als Verlängerung der Konstruktion und soll verhindern, dass Krebse die Sperre in einer Etappe überschwimmen können. Der Querschnitt der Barriere ist eingeeengt, um eine höhere Fließgeschwindigkeit in der gesamten Sperre zu erzielen (Abb. 3-1 *Krebssperre*). Im weiteren Bericht werden der Bereich vor bzw. hinter der Krepssperre als Start bzw. Endkammer bezeichnet.

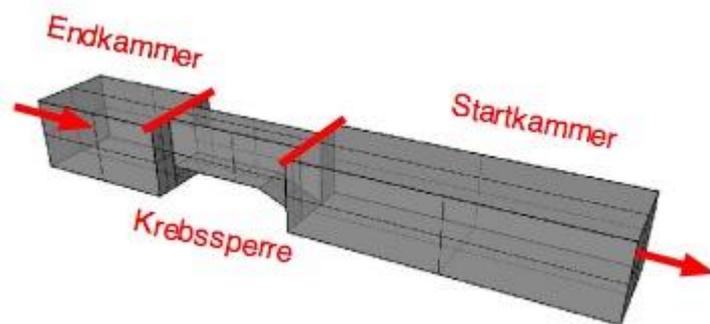


Abb. 3-1 Krepssperre

## 4. Versuchsaufbau in der Kiprinne

Der dargestellte Versuchsaufbau (Abb. 4-1 Versuchsaufbau Kiprinne) zeigt die Kiprinne aus dem Wasserlabor der Hochschule OWL Standort Höxter mit eingebauter Krepssperre. Die Fließrichtung des Wassers ist entgegen der Aufstiegsrichtung der amerikanischen Sumpfkrebse gerichtet.



Abb. 4-1 Versuchsaufbau in Kiprinne

Im vorderen Teil des Versuchsaufbaues befindet sich die Startkammer (Abb. 4-2 Startkammer) in welche die Versuchstiere zu Versuchsbeginn gesetzt wurden (Abb. 4-3 Versuchstiere in Kippinne).



Abb. 4-2 Startkammer



Abb. 4-3 Versuchstiere in Kippinne

Um den Krebsen einen Anreiz zu geben die Krepssperre zu überqueren, wurde hinter der Sperre ein PE-Rohr mit Hundefutter als Köder befüllt (Abb. 4-4 PE-Rohr mit Köder). Das Köderkörbchen wurde während der gesamten Versuchsdauer in der Kippinne belassen (Abb. 4-5 Köder eingebaut). Sowohl die Sohle der Startkammer als auch die der Endkammer wurden mit grobkörnigen Kies ( $\leq 1\text{cm}$ ) ausgelegt um ein naturnahes Bachbett zu simulieren.



Abb. 4-4 PE-Rohr mit Köder



Abb. 4-5 Köder eingebaut

Die Fließgeschwindigkeit, des durch Kreiselpumpen aus einem Tiefbehälter geförderten Wassers (Abb. 4-6 Versuchsaufbau) wurde über die Leistung der Pumpen sowie durch ein am Ende der Rinne befindlichen Wehr geregelt (Abb. 4-7 regelbares Wehr).



**Abb. 4-6 Versuchsaufbau**



**Abb. 4-7 regelbares Wehr**

Beispielsweise wurde durch eine Absenkung des Wehrs und die damit verbundene Reduzierung des Wasserstandes bei konstantem Abfluss die Fließgeschwindigkeit in der Versuchsstrecke erhöht. Die mittlere Fließgeschwindigkeit in der Kipprinne wurde errechnet und punktuell mit Hilfe eines Messflügels ermittelt.

Über die Länge des gesamten Versuchsaufbau wurden Kameras mit IR-Dioden installiert. Durch die Infrarotaufnahmen war es möglich auch bei Dunkelheit die Versuche zu überwachen und alle Aktivitäten der Tiere aufzuzeichnen. Die drei Kameras wurden an einen Festplatten-Recorder mit ausreichend großem Speicher gekoppelt um Aufnahmen des Versuches in Echtzeit ( $\geq 48\text{h}$ ) zu ermöglichen. (Abb.4-8 Aufbau Kameras 1 und Abb. 4-9 Aufbau Kameras 2) Die Auswertung des Videomaterials erfolgte im Anschluss an die Versuche.



**Abb. 4-8 Aufbau Kameras1**



**Abb. 4-9 Aufbau Kameras2**

## 5. Versuchsdurchführung

### 5.1. Allgemein

Es wurden insgesamt fünf Versuche mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Abflüssen durchgeführt. Die 15 Versuchstiere wurden dazu, wie unter *Kapitel 2 Laborversuche* beschrieben, nach Größe und Gewicht in zwei Gruppen aufgeteilt und abwechselnd für die Versuche eingesetzt. Die Bedingungen wurden bewusst an die Versuche der vorangegangenen Arbeit von Frau D. Hermann (2011) angelehnt, um eine Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

### 5.2. Versuch 1

Der erste Versuch entspricht annähernd dem Versuch mit dem größten Abfluss und der größten Fließgeschwindigkeit von Frau Hermann und ist über 48h gelaufen. Es konnte nicht festgestellt werden, dass die Versuchstiere in diesem Zeitraum die Krebsbarriere erfolgreich überquert haben.

**Tab. 5.2-1 Versuch 1 Übersicht**

Versuch Nr.	Abfluss [l/s]	Versuchsdauer [h]	Wassertiefe [m]		Fließgeschwindigkeit Sperre [m/s]		Aufstieg konnte verhindert werden	
			Sperre	Fließrinne	V <sub>sohle</sub>	V <sub>oberfläche</sub>	Ja	nein
1	11,70	48	0,115	0,271	0,461	0,481	X	

Siehe *Anhang I Versuchsprotokoll 1*

Im Laufe des Versuchs konnte beobachtet werden, dass die Versuchstiere immer wieder versuchten die Krebsbarriere zu überwinden. Dies geschah, wie der *Tab. 5.2-1 Versuch 1 Übersicht* zu entnehmen ist ohne Erfolg. Die Tiere liefen die Rampe sehr langsam und schräg nach oben, verharrten eine Weile

auf der Rampe um sie danach wieder hinunter zu laufen (Abb. 5-1 schräge Überquerung). Die Versuche die Barriere zu überwinden waren fast stündlich zu beobachten.



**Abb. 5-1 Schräge Überquerung**

Alle Ergebnisse sind in *Tab. 5.5-1 Versuchsreihe Krebse Übersicht* gegenübergestellt.

### 5.3. Versuch 2

Stellt den Versuch mit dem niedrigsten Abfluss und kleinsten Fließgeschwindigkeit aus den Untersuchungen von D. Hermann 2011 dar. Die Versuchsdauer betrug 48h.

**Tab. 5.3-1 Versuch 2 Übersicht**

Versuch Nr.	Abfluss [l/s]	Versuchsdauer [h]	Wassertiefe [m]		Fließgeschwindigkeit Sperre [m/s]		Aufstieg konnte verhindert werden	
			Sperre	Fließrinne	$V_{\text{sohle}}$	$V_{\text{oberfläche}}$	Ja	nein
2	8,70	48	0,180	0,335	0,214	0,218	X	

Siehe *Anhang II Versuchsprotokoll 2*

Es waren vereinzelt Kämpfe unter den Versuchstieren zu beobachten. Zwei Versuchstiere versuchten kontinuierlich die Krepssperre zu überwinden. Teilweise verharrten die Krepse mehrere Minuten auf der Rampe, ehe sie erfolglos wieder die Rampe hinab liefen. Speziell in der Nacht ist eine erhöhte Aktivität und Aggressivität der Sumpfkrepse zu beobachten. Es befanden sich zeitweise bis zu vier Tiere gleichzeitig auf der Rampe (*Abb. 5-2 Mehrere Tiere auf Rampe*) Vor der Sperre fanden vereinzelt Kämpfe statt, vorauf hin einige Krepse auf die Rampe der Sperre auswichen. Fast alle Versuche die Sperre zu überwinden, erfolgten in Versuch 2 gerade und nicht schräg. Am Morgen ließ die Aktivität der Tiere stark nach.



**Abb. 5-2 Mehrere Tiere auf der Rampe**

#### **5.4. Versuch 3**

Es konnte weder bei Versuch 1 noch Versuch 2 festgestellt werden, dass die Versuchstiere in diesem Zeitraum die Krebsbarriere erfolgreich überquert haben. Daher wurden in dritten Versuch der Durchfluss mit 5,8 l/s und die Fließgeschwindigkeit mit 0,124 m/s auf ein Minimum reduziert. Dieser Versuch wurde bereits nach 24h beendet, da festgestellt werden konnte, dass die Tiere die Barriere passiert hatten. Zwei Versuchstiere befanden sich in der Endkammer als der Versuch beendet wurde. Die Auswertung des

Videomaterials ergab allerdings, dass die Tiere mehrmals die Sperre überwunden haben und nach einer gewissen Zeit wieder zurück vor die Sperre in die Startkammer gewandert sind. Die Sperre konnte in diesem Fall durch Schwimmen aber auch durch einfache Laufbewegungen der Krebse ohne Anstrengung überwunden werden.

**Tab. 5.4-1 Versuch 3 Übersicht**

Versuch Nr.	Abfluss [l/s]	Versuchsdauer [h]	Wassertiefe [m]		Fließgeschwindigkeit Sperre [m/s]		Aufstieg konnte verhindert werden	
			Sperre	Fließrinne	$V_{\text{sohle}}$	$V_{\text{oberfläche}}$	Ja	nein
3	5,80	24	0,182	0,335	0,124	0,123		X

Siehe *Anhang III Versuchsprotokoll 3*

Die Auswertung des Videomaterials ergab das in Versuch 3 die Krebsbarriere mehrmals (10 erfolgreiche Überquerungen) die Krebsbarriere passiert haben. Bei acht von zehn erfolgreichen Versuchen wurde die Barriere mit Schwimmbewegungen überwunden. Schwimmbewegungen wurden lediglich zum Überwinden der Kante an der Rampe eingesetzt. Nachdem diese erfolgreich „überschwommen“ (*Abb. 5-6 Überquerung durch schwimmen*) war, liefen die Krebse auf dem gerade Stück der Krebs Sperre einfach weiter. Nach der erfolgreichen Überquerung begaben sich die Versuchstiere nicht direkt in die Endkammer sondern verharrten ein paar Minuten an der Kante der Sperre (*Abb.5-7 Krebs an Kante (Endkammer)*). Bei Versuchsende befanden sich lediglich zwei Tiere in der Endkammer. Eine detaillierte Auswertung des Videomaterials ergab, dass die Tiere nicht nur die Barriere überwunden haben sondern im Anschluss diese auch wieder in Fließrichtung passierten. Hierbei liefen die Tiere von der Endkammer über die Krebsbarriere zurück in die Startkammer. In den anderen beiden Fällen überquerten die Krebse (meist größere Tiere) die Sperre ohne Schwimmbewegungen. Auch hier liefen die Versuchstiere wieder zurück auf ihre Ausgangsposition.

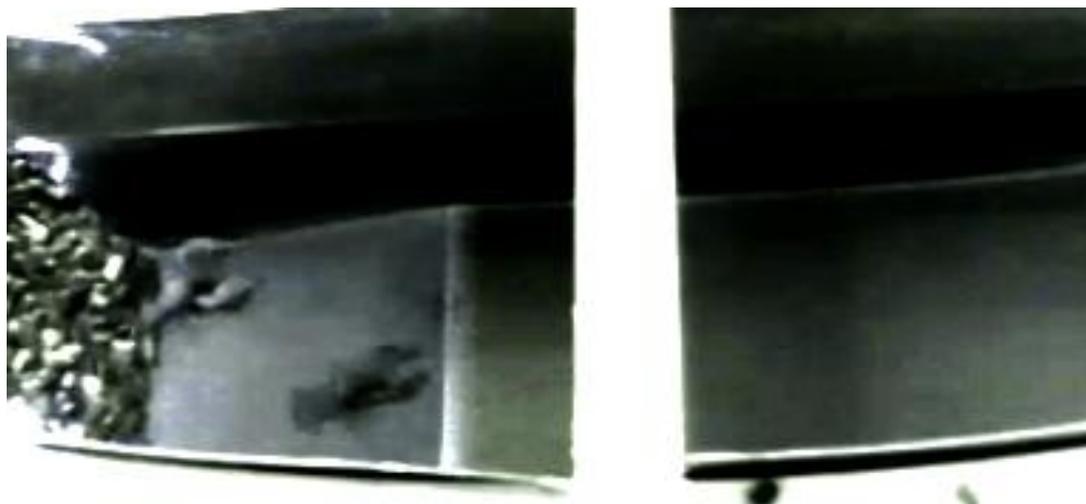


Abb. 5-3 Krebse auf der Rampe

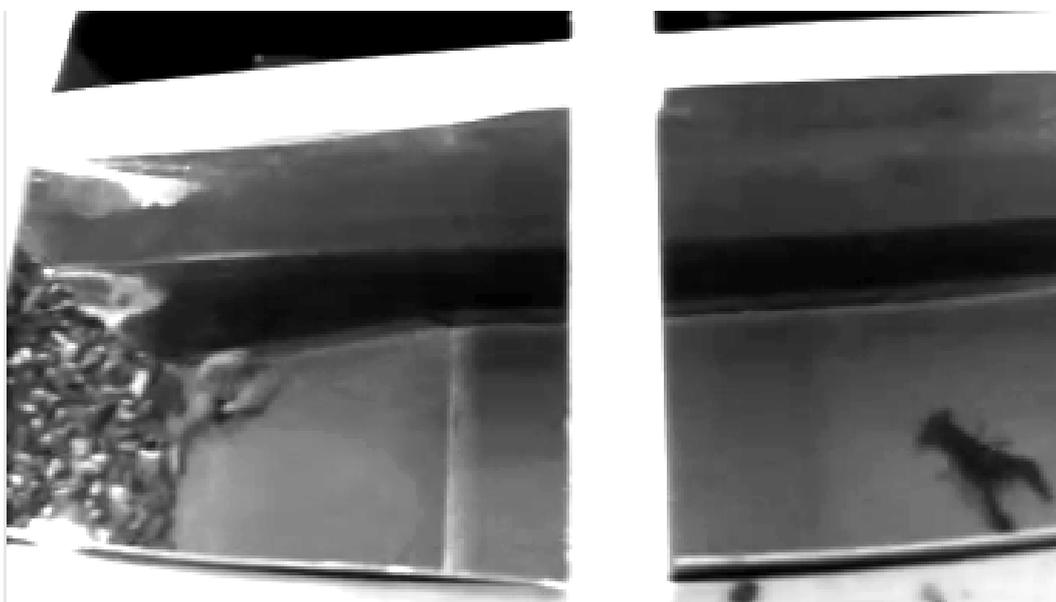


Abb. 5-4 Krebs nach Überwindung der Rampe



**Abb. 5-5 Überquerung aus einer anderen Perspektive**



**Abb. 5-6 Überquerung durch schwimmen**



**Abb. 5-7 Krebs an Kante (Endkammer)**

### **5.5. Versuch 4 und 5**

In den beiden letzten Versuchen (identische Variablen, unterschiedliche Versuchsgruppen) wurde der Durchfluss wie in Versuch 3 beibehalten, lediglich die Fließgeschwindigkeit wurde dem Versuch 2 wieder angenähert. Auch hier ergab die Auswertung des Videomaterials, dass die Krebse die Sperre überwunden haben. Allerdings war die Häufigkeit der erfolgreichen Versuche wesentlich geringer als in Versuch 3. Ein weiterer wesentlicher Unterschied zu Versuch 3 ist, dass die Sperre hier lediglich durch Schwimmbewegungen der Krebse überwunden werden konnte (*Abb.5-9 Überquerung durch schwimmen*). Viele der unternommenen Schwimmversuche blieben jedoch erfolglos. Dies lässt darauf schließen, dass hier aufgrund der höheren Fließgeschwindigkeit an der Kante der Rampe die Versuchstiere wesentlich größere Anstrengungen unternehmen mussten.

Die Ergebnisse alle Versuche sind in der nachfolgenden Tabelle (Tab.5.5-1 *Versuchsreihe Krebs Sperre*) zusammengestellt.

**Tab. 5.5-1 Versuchsreihe Krebs Sperre**

Versuch Nr.	Abfluss [l/s]	Versuchsdauer [h]	Wassertiefe [m]		Fließgeschwindigkeit Sperre [m/s]		Aufstieg konnte verhindert werden	
			Sperre	Fließrinne	V <sub>sohle</sub>	V <sub>oberfläche</sub>	Ja	nein
1	11,70	48	0,115	0,271	0,461	0,481	X	
2	8,70	48	0,180	0,335	0,214	0,218	X	
3	5,80	24	0,182	0,335	0,124	0,123		X
4	5,80	24	0,136	0,290	0,182	0,186		X
5	5,80	24	0,136	0,290	0,182	0,186		X

Siehe Anhang IV Versuchsprotokoll 4 und Anhang V Versuchsprotokoll 5

Die Abbildung (*Abb. 5-8 Kämpfe vor Rampe*) zeigt, dass sich die Krebse in der Ecke der Sperre aufhalten. Wie in Versuch 3 schaffen es auch in den Versuchen 4 und 5 die Versuchstiere mit Schwimmbewegungen die Krebsbarriere zu überwinden. Allerdings waren die erfolgreichen Überquerungen in Versuch 4 mit vier geglückten Versuchen wesentlich geringer.



**Abb. 5-8 Kämpfe vor Rampe**



**Abb. 5-9 Überquerung durch schwimmen**

## 6. Numerische Darstellung der Versuche

### 6.1. Allgemein

Neben den physikalischen Laborversuchen wurden zudem noch 3D-Simulationen durchgeführt, um im Detail auf die in der Sperre herrschenden Strömungsbedingungen einzugehen. Zusammen mit dem beobachteten Verhalten der Krebse bei dem Versuch die Sperre zu überwinden kann dies dazu beitragen die Krebsbarriere weiter zu optimieren.

### 6.2. Erstellung der numerischen Darstellung

Als Grundlage für die Erstellung der Modelle dienen die physikalischen Abmessungen der Kipprinne und die der Krebsbarriere.

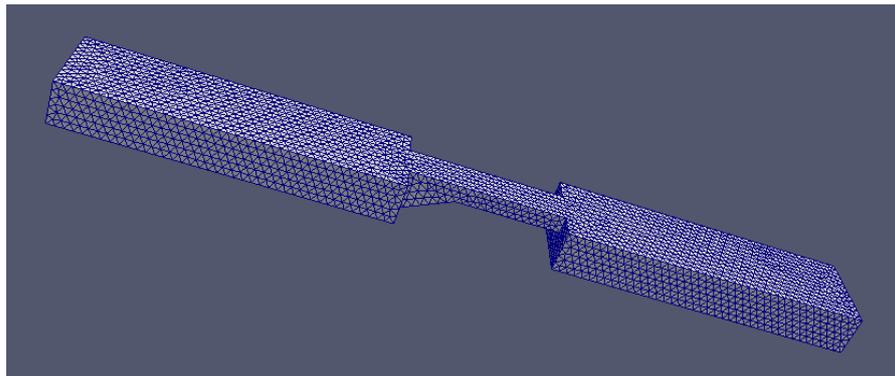
Tab. 6.2-1 Abmessungen

Komponente	[m]
Breite Kipprinne	0,60
Breite Krebsbarriere	0,25
Länge Krebsbarriere	1,00
Länge Sohle Krebsbarriere	0,67
Länge Rampe Krebsbarriere	0,33
Höhe Krebsbarriere	0,16
Modell Höhe <sup>[1]</sup>	
Versuch1	0,115
Versuch2	0,180
Versuch3	0,182
Versuch4	0,136
Versuch5	0,136

<sup>[1]</sup> Wassertiefe Sperre

Ausgehend von den Oberstehenden Werten (*Tab. 6.2-1 Abmessungen*) wurde mit dem EDV Programm RHINOCEROS vier verschiedene 3D-Computermodelle erzeugt. Nach oben hin wurde das Modell durch eine weitere Wand begrenzt. Durch den kontinuierlichen Durchfluss und der geringen Fließgeschwindigkeiten kommt es zu keinen nennenswerten Wasserspiegeländerungen. Daher wurde auf eine 2-Phasen-Modellierung (Wasser-Luft) verzichtet und der Versuchsaufbau in den weiterführenden Berechnungen als Druckbehälter angenommen. Die Wandreibung des „Deckels“ wurde hierzu auf Null (reibungsfrei) gesetzt.

Nachdem die 3D-Modelle erzeugt wurden, wurde mit dem Modellier- und Vernetzungsprogramm GAMBIT ein sog. 3D-Mesh (3D-Rechennetz) erzeugt.



**Abb. 6-1 3D-Rechennetz**

Des Weiteren mussten mit GAMBIT die verschiedenen Wände des Modells (Zufluss, Abfluss, Sohle etc.) benannt werden, um ihnen im Anschluss die entsprechenden Eigenschaften zuzuweisen. GAMBIT ist in diesem Fall der Präprozessor und bereitet die Daten für FLUENT vor, mit welchem die eigentliche Berechnung der Strömungsverhältnisse erfolgt. Für die Turbulenz Berechnungen wurde wie bei Frau Hermann das  $k - \omega$  Modell benutzt. Die Werte für die Rauigkeit der wurden entsprechen der *Tab. 6.2-2 Rauheiten* (*D.Hermann 2011*) angenommen.

**Tab. 6.2-2 Rauheiten (D.HERMANN 2011)**

Zone	Rauheit [m]
Sohle OW	0,0010
Sohle UW	0,0100
Rampe OW	0,0001
Rampe UW	0,0001
Seite Links	0,0010
Seite Links	0,0010
„Deckel“	0,0000

Die Werte wurden so gewählt, dass die die physikalischen Versuchen möglichst genau nachgebildet werden können.

Wurden alle erforderlichen Parameter den entsprechenden Elementen zugeordnet, ermittelt FLUENT iterativ die Fließrichtung nach Größe und Richtung sowie Druck für jedes Volumenelement des zuvor generierten 3D-Rechennetzes.

Für die grafische Auswertung der Rechenergebnisse wurde mit PARAVIEW gearbeitet. Wie auf den nachfolgenden Bildern zu sehen ist, wurden hierfür die verschiedenen Fließgeschwindigkeiten farblich voneinander abgegrenzt.

Um die genauen Fließgeschwindigkeiten im Innern der Krebsbarriere zu ermitteln, wurde für jeden Versuch bzw. jedes Modell ein „Slice“ mit PARAVIEW erzeugt. Dieser „schneidet“ das Modell in X-Richtung und ermöglicht so einen detaillierten Blick in das Innere der Sperre mit den entsprechenden Fließgeschwindigkeiten.

### 6.3. Versuch 1

Wie auf der Abbildung (*Abb. 6-2 3D-Modell Versuch 1*) zu erkennen ist, erhöht sich die Fließgeschwindigkeit im Bereich der Krebsbarriere durch die Querschnittsverengung. Im Unterwasserbereich (Startkammer) lässt sich die Strahlwirkung der Krebsbarriere deutlich an den unterschiedlichen Farben der Fließgeschwindigkeiten erkennen. Mit Hilfe des numerischen Modells und den farblich abgegrenzten Fließgeschwindigkeiten lassen sich auch die andauernden Überquerungsversuche erklären. Während auf der Sperre selbst Fließgeschwindigkeiten von bis zu 0,5 m/s gemessen und errechnet wurden, sind im Bereich der Rampe lediglich Fließgeschwindigkeiten von ca. 0,25 m/s auszumachen. Ein Detailaufnahme der Krebsbarriere (*Abb. 9-2 Versuch 1 Detailaufnahme Krebsbarriere*) und den Fließgeschwindigkeiten befindet sich im Anhang VI.

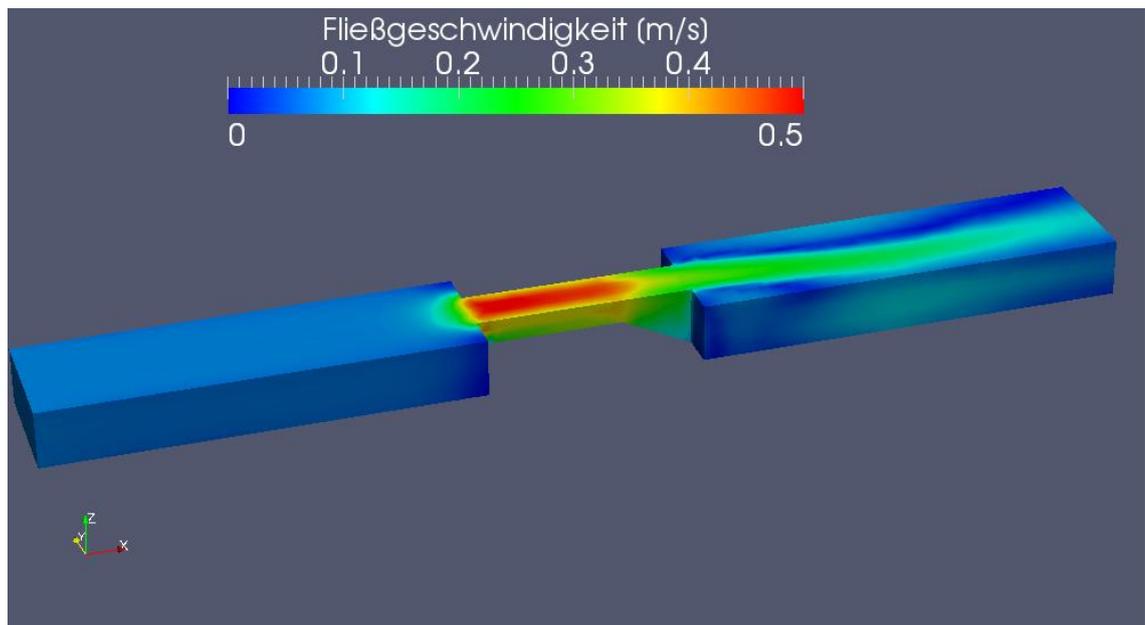
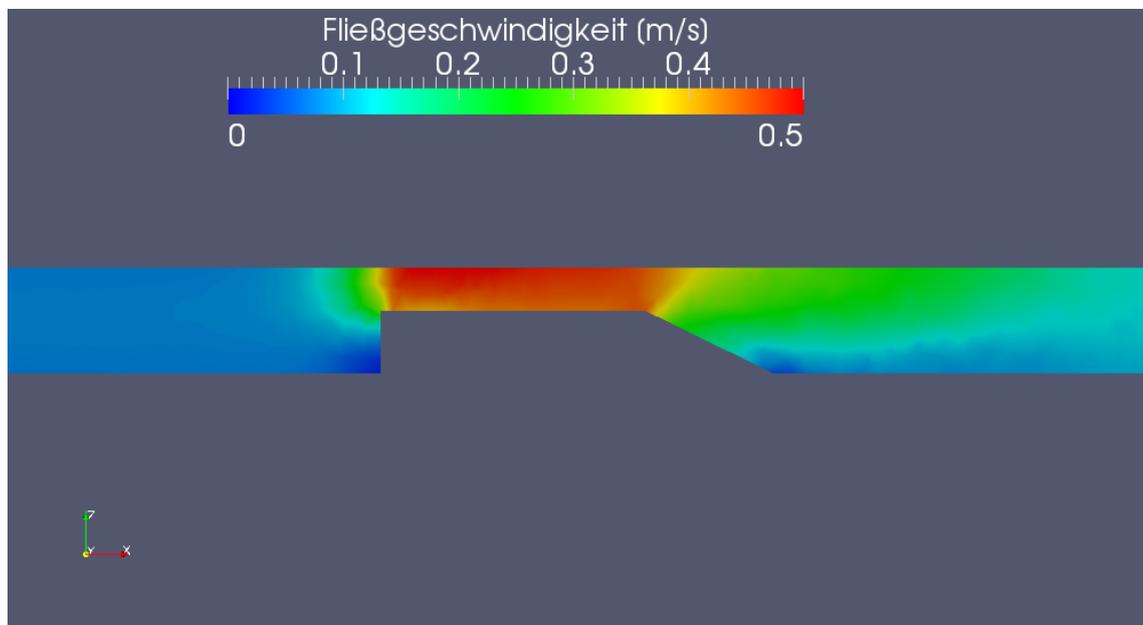


Abb. 6-2 3D-Modell Versuch 1

Ein Schnitt entlang der X-Achse des Modells verdeutlicht noch einmal die unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten. Auf Grund der vergleichsweise geringen Fließgeschwindigkeit im Rampenbereich, war es den Versuchstieren möglich, diese nach oben zu laufen, aber sie nicht zu überwinden (vgl. *Kapitel 5.2 Versuch 1*). Speziell an der Kante wurden Fließgeschwindigkeiten von bis zu 0,5m/s berechnet und gemessen. Betrachtet man die Sohle von Versuch 1 (*Anhang VI Abb. 9.1 Versuch 1 Detailaufnahme der Sohle*) wird deutlich, dass an den Seiten der Sperre die Geschwindigkeit abnimmt aber an der Kante und in der Mitte noch sehr hoch ist.



**Abb. 6-3 Schnitt Versuch 1**

## 6.4. Versuch 2

Im Gegensatz zu Versuch 1 ist in Versuch 2 die Fließgeschwindigkeit geringer. Auffällig ist, dass im Bereich der Krebsbarriere lediglich Strömungsgeschwindigkeiten von ca. 0,22 m/s auftreten und dieser Bereich nicht rot eingefärbt ist (Abb. 6-4 3D-Modell Versuch 2). Wie in Versuch 1 versuchten die Tiere die Rampe nach oben zu laufen. Die Tiere kamen der Kante der Krebs Sperre näher, aber dennoch war es den Krebsen nicht möglich die Barriere zu überwinden (vgl. Kapitel 5.3 Versuch 2).

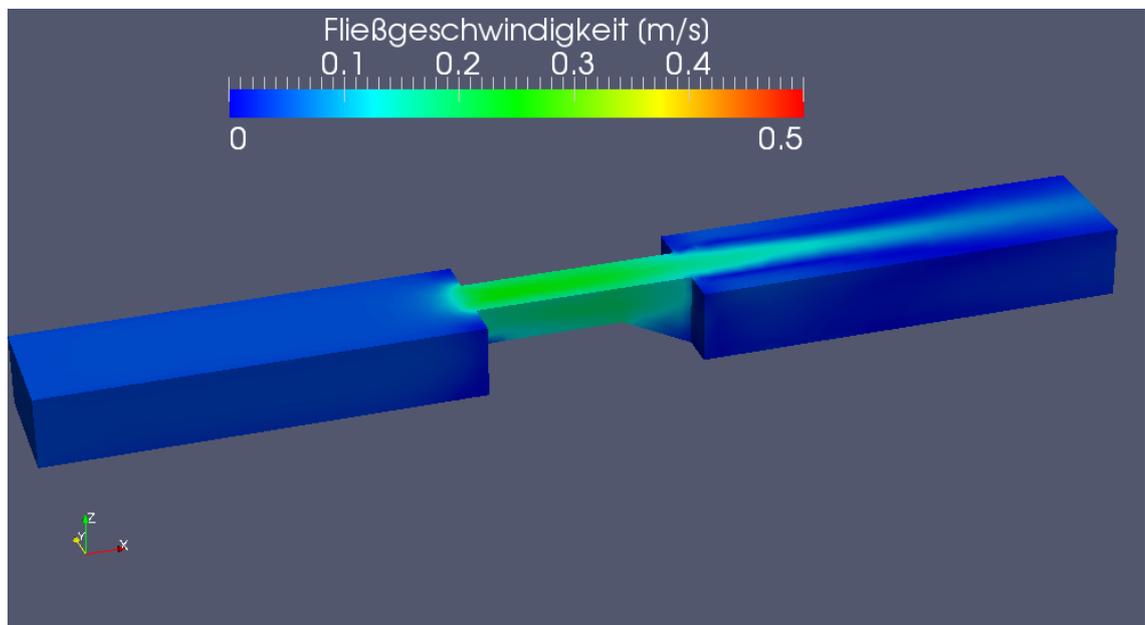
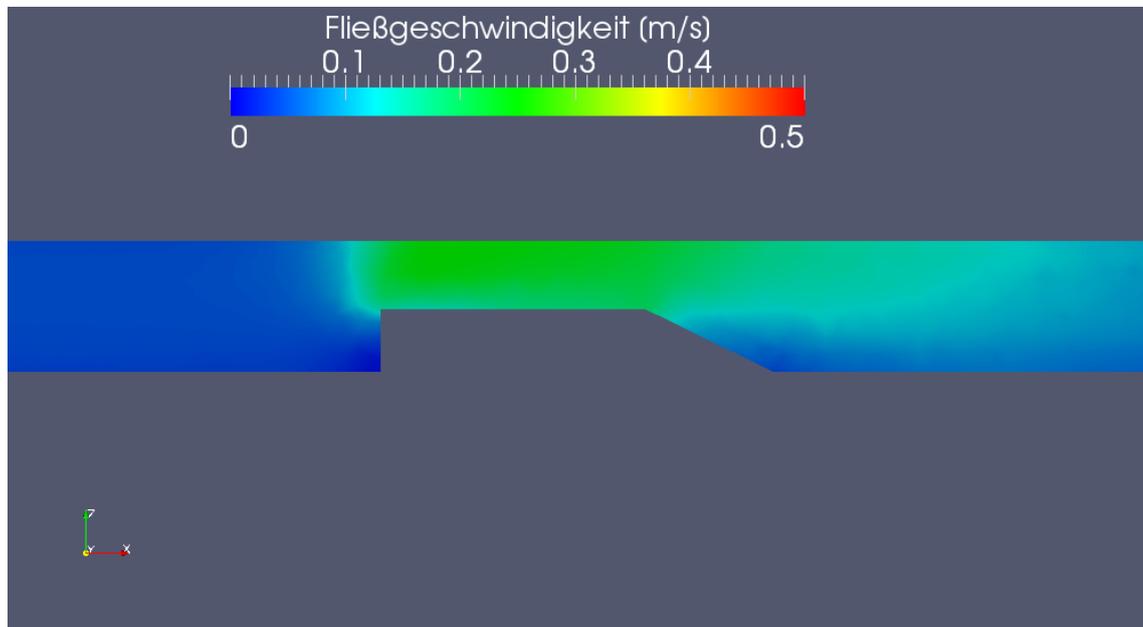


Abb. 6-4 3D-Modell Versuch 2

Der Schnitt durch das Modell zeigt das im Bereich der Rampe die Fließgeschwindigkeit nahe null geht, aber im geraden Bereich der Barriere sich die Fließgeschwindigkeit wieder erhöht.

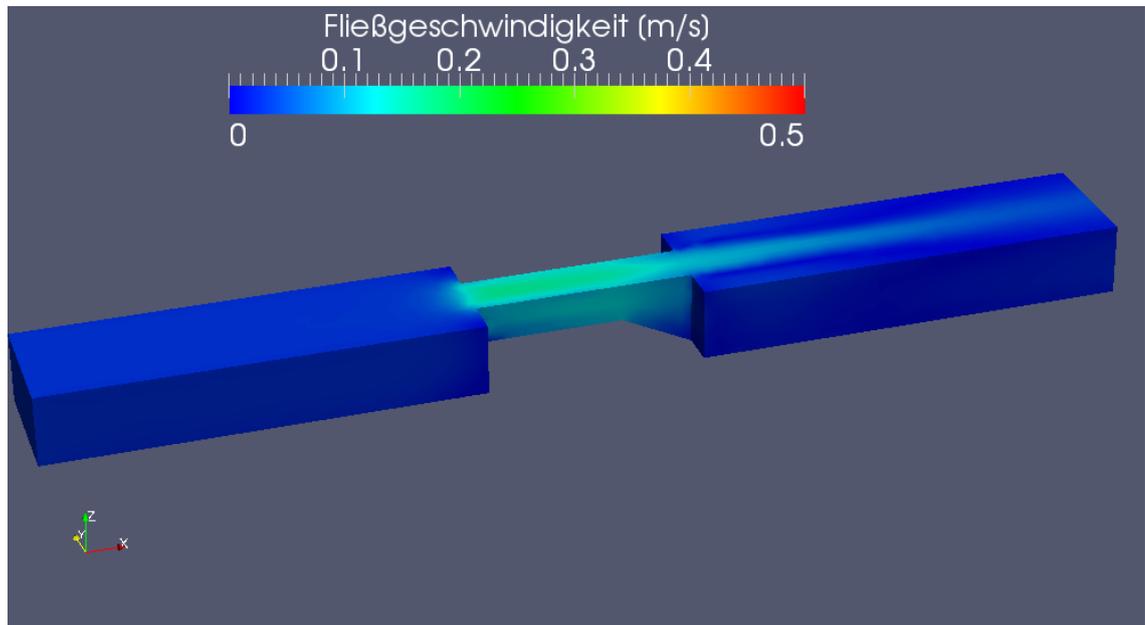


**Abb. 6-5 Schnitt Versuch 2**

Eine Detailaufnahme der Sohle (*Abb. 9-3 Versuch 2 Detailaufnahme der Sohle*) und eine Detailaufnahme der Krepssperre (*Abb. 9-4 Versuch 2 Detailaufnahme Krepssperre*) befindet sich im *Anhang VII Bilder Versuch 2*. Die Abbildung der Sohle zeigt eine erhöhte Fließgeschwindigkeit am Übergangsbereich Sohle-Rampe und der Rampe selbst. Daher war es in diesem Versuch den Krebsen unmöglich über die Kante der Rampe zu wandern.

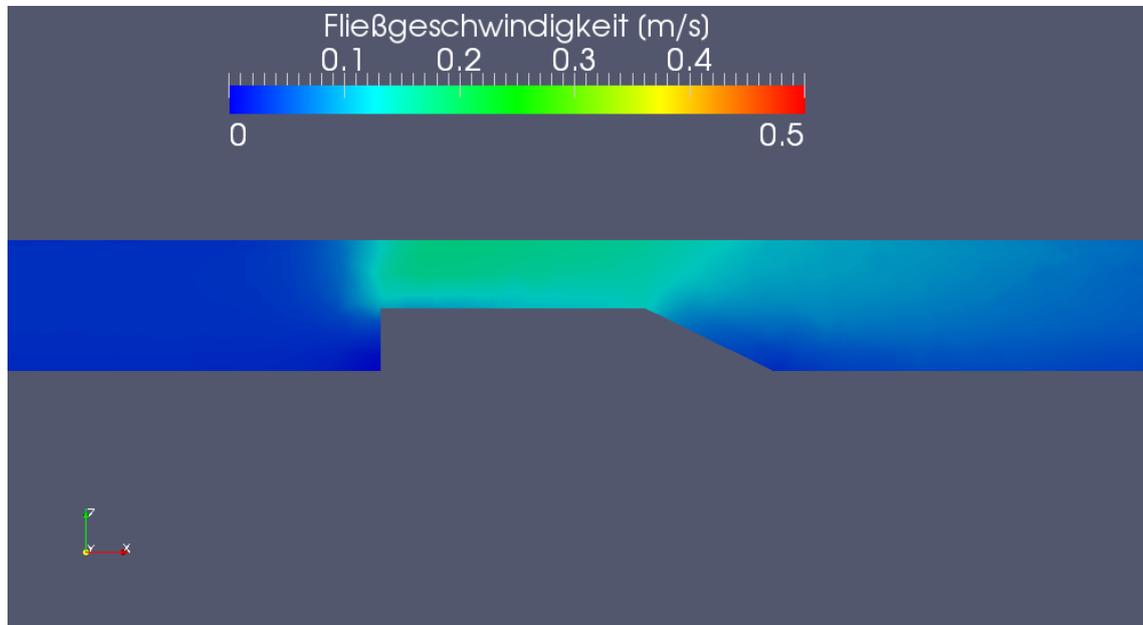
### 6.5. Versuch 3

Dass der Versuch 3 derjenige in der Versuchsreihe mit der geringsten Fließgeschwindigkeit ist zeigt die *Abb. 6-6 3D-Modell Versuch 3*. Die Strahlwirkung der Querschnittsverengung fällt in diesem Fall noch geringer aus und krümmt sich nicht in der Startkammer (UW). Im Unterwasserbereich reduziert sich die Fließgeschwindigkeit wieder fast vollständig auf die Ausgangsgeschwindigkeit in der Endkammer. Im Bereich der Rampe ist die Fließgeschwindigkeit so gering, dass sich dieser Bereich kaum verfärbt. Auch auf der Sperre herrschen so geringe Fließgeschwindigkeiten vor, dass es in diesem Versuch den Krebsen möglich war die Sperre zu passieren. Die erfolgte wie unter *Kapitel 5.4 Versuch 3* durch Schwimmbewegungen und Überlaufen der Sperre.



**Abb. 6-6 3D-Modell Versuch 3**

Die sehr geringen Fließgeschwindigkeiten lassen sich am besten durch *Abb. 6-7 Schnitt Versuch 3* verdeutlichen. Hier wird noch einmal sehr deutlich, dass die Geschwindigkeiten des Wassers kaum über 0,1m/s liegen.



**Abb. 6-7 Schnitt Versuch 3**

Die Detailaufnahme der Sohle (*Abb. 9-5 Versuch 3 Detailaufnahme der Sohle*) und ihrer Fließbedingungen, im *Anhang VIII Bilder Versuch 3* zeigt, dass auch im Bereich der Kante, diese mit kaum mehr als 0,12 m/s überströmt wird.

Im Anhang befindet außerdem die Detailaufnahme der Krepssperre (*Abb. 9-6 Versuch 3 Detailaufnahme Krepssperre*) und die Fließgeschwindigkeiten zu differenzieren.

## 6.6. Versuch 4 und 5

Da es sich bei Versuch 4 und Versuch 5 eigentlich um einen Versuch mit gleichen Abflussbedingungen handelt, können diese beiden mit einem 3D-Modell zusammengefasst werden. Lediglich die Versuchsgruppen unterscheiden sich in den beiden Versuchen.

Trotz wieder leicht erhöhter Fließgeschwindigkeit, war es den Versuchstieren (in beiden Versuchen) auch bei diesen Versuchen möglich die Sperre zu passieren. Man sieht deutlich, dass sich die Fließgeschwindigkeit wieder leicht erhöht hat. Im UW krümmt sich der „Stahl“ wieder ein wenig. In der Sperre selbst steigt die Fließgeschwindigkeit wieder auf fast 0,19 m/s an.

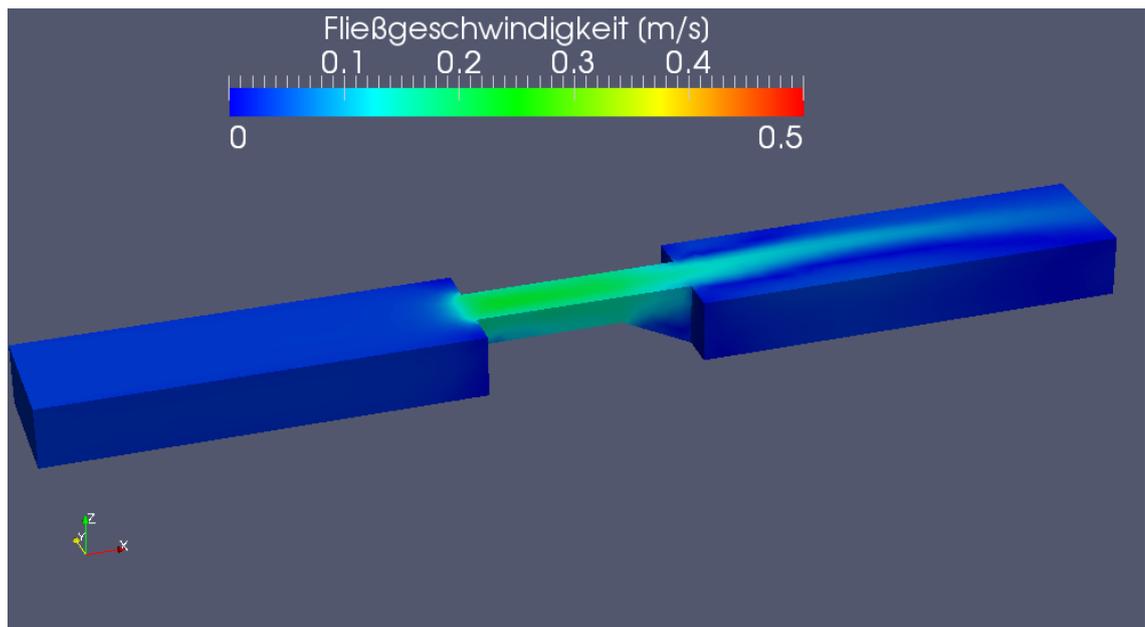
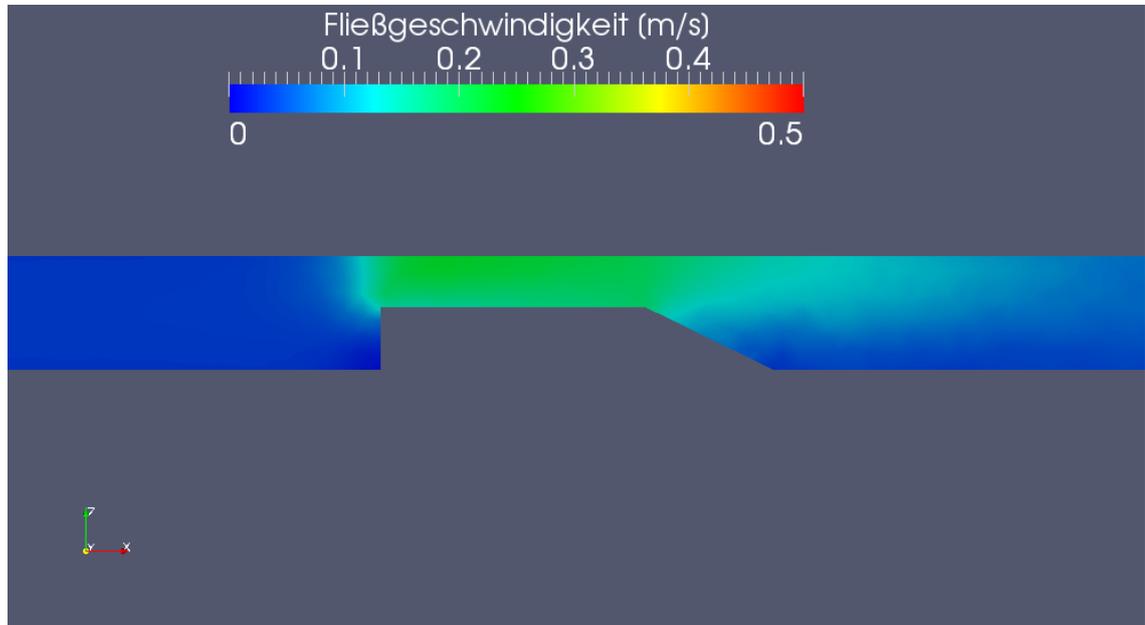


Abb. 6-8 3D-Modell Versuch 4 und Versuch 5

Der Schnitt (*Abb. 6-9 Schnitt Versuch 4 und Versuch 5*) zeigt im Gegensatz zu Versuch 3 eine höhere Fließgeschwindigkeit im Inneren der Sperre. Dennoch hat bei einer Fließgeschwindigkeit die Krebsbarriere nicht den gewünschten Effekt die Krebse zurückzuhalten wie es in Versuch 2 der Fall ist.



**Abb. 6-9 Schnitt Versuch 4 und Versuch 5**

Eine Detailaufnahme der Sohle (*Abb. 9-7 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme der Sohle*) und ihrer Fließbedingungen findet sich im Anhang IX Bilder Versuch 4 und Versuch 5.

Ebenso wie ein Detailaufnahme der Krebsbarriere (*Abb. 9-8 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme Krebsbarriere*) und ihren Fließgeschwindigkeiten.

## 7. Ergebnis Diskussion

Die entwickelte Krepssperre die sich in den vorangegangenen Versuchen (Hermann 2011) mit dem Signalkrebs als wirkungsvoll erwiesen hat, konnte hier also auch bei den gleichen Abflussbedingungen den Aufstieg der Roten Amerikanischen Sumpfkrebse verhindern. Erst nach weiterem Herabsetzen der Fließgeschwindigkeit waren die Tiere in der Lage die Sperre zu überwinden.

Das Verhalten der Versuchstiere war bei allen durchgeführten Versuchen sehr ähnlich. Voranging hielten sie sich in den strömungsberuhigten Bereichen am Rand der Sperre auf. Da dieser Platz sehr begrenzt war ergab sich auch der gewünschte Effekt die Tiere unter Stress zu setzen und damit zu einem möglichen Aufstieg zu motivieren. Dies wurde auch durch zahlreiche Kämpfe innerhalb der Startkammer belegt. Auffällig war dass die Krebse vor allem in den Abendstunden und in der Nacht am häufigsten versuchten die Sperre zu überwinden. Bei allen eingestellten Abflussbedingungen war es den Tieren möglich die Sperre bis zur Kante hochzulaufen, jedoch konnte diese wenn dann zumeist nur schwimmend überwunden werden. Die Schwimmbewegungen hielten meist bis auf ungefähr der Hälfte der Sperre an. Dann ließen sich die Tiere auf den Boden der Sperre absinken und legten den Rest der Strecke laufend zurück. Dies geschah dann sehr oft in den Außenbereichen der Sohle wo aufgrund der Wandrauheiten eine etwas geringere Fließgeschwindigkeit herrschte. Nur wenige Ausnahmen zeigten eine komplette Überquerung der Sperre durch schwimmen. Dies legt die Vermutung nahe dass der entscheidende Punkt die Fließgeschwindigkeit am Übergang von Rampe und der Sohle der Sperre ist. Ist hier die Fließgeschwindigkeit zu hoch um sie schwimmend zu überwinden hat der Krebs keine Chance aufwärts zu wandern. Hatten die Tiere einmal diesen Punkt passiert, hielten sie sich sogar oftmals mehrere Minuten auf der Sperre auf, bevor sie entweder in die Endkammer wanderten oder sogar einfach kehrt machten und wieder in die Startkammer zurückliefen. Erstaunlich war die Feststellung, dass der Großteil der Krebse

nach einer gewissen Zeit in der Endkammer wieder den Weg zurück suchte und die Sperre in Fließrichtung überquerte. Die Versuchstiere die es einmal geschafft hatten die Sperre zu überqueren, haben (soweit sie identifiziert werden konnten) immer wieder den Weg in als auch gegen die Fließrichtung über die Barriere gesucht. So haben einige Versuchstiere innerhalb eines Versuches die Sperre mehrfach überwunden, während andere es kaum versuchten und in der Startkammer verharrten.

Abschließend bleibt zu sagen dass ich fischpassierbare Krebsbarriere die von Frau Hermann entwickelt wurde auch den *Roten Amerikanischen Flusskrebs* erfolgreich daran hindern kann seine flussaufwärts gerichtete Wanderung fortzusetzen, solange am Übergangspunkt von Rampe und der Sohle der Sperre eine Strömungsgeschwindigkeit von ungefähr 0,2 m/s nicht unterschritten wird. Natürlich dürfen gerade bei dem *Roten Amerikanischen Sumpfkrebs* seine ausgezeichneten Kletterkünste nicht vergessen werden. Somit kann die entwickelte Barriere nur im Zusammenhang mit terrestrischen Wanderhindernissen und gewissenhafter Standortwahl eine Lösung des Problems darstellen.

## 8. Quellenverzeichnis

Vaeßen, Susanne (2010): Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse, Schriftliche Ausarbeitung im Rahmen der ersten Staatsprüfung, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Hermann, Denise (2011): Entwicklung einer fischdurchgängigen Krebsbarriere, Bachelorarbeit, Hochschule Ostwestfalen-Lippe

[BEINLICH 2009] – Der Edelkrebs (*Astacus astacus*) im Kreis Höxter; Beiträge zur Naturkunde zwischen Egge und Weser, Heft 21, 2009

[BVET] – Bundesamt für Veterinärwesen; Krebspest

[http://www.bvet.admin.ch/gesundheit\\_tiere/01065/01110/01128/index.html?lang=de&print\\_style=yes](http://www.bvet.admin.ch/gesundheit_tiere/01065/01110/01128/index.html?lang=de&print_style=yes) ; Stand 11.03.2013

[EDELKREBS NRW 2008] – Die Flusskrebsfauna in NRW; Edelkrebsprojekt NRW; Dr. Harald Groß, Carsten Burk, Alois Hill; NiN Heft 4/08

[LFU 2005] – Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 1 – Grundlagen; Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg, 2005

[MAIWALD 2007] – Verdrängung autochthoner Flusskrebsarten durch gebietsfremde Flusskrebsarten in Mitteleuropa, Treffpunkt Biologische Vielfalt VII; Bundesamt für Naturschutz, 2007

[MUNLV NRW 2007] – Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen – Vorkommen, Erhaltungszustand, Gefährdungen, Maßnahmen; Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 2007

[NENTWIG 2010] – Invasive Arten; Hauptverlag, 2010

[NEOBIOTA 2013] – Naturschutzinformationen NRW; Roter Amerikanische Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*)

<http://neobiota.naturschutzinformationen-nrw.de/site/nav3/ArtInfo.aspx?Art=Tiere&ID=4d1db9f2-c4a6-4d85-9a6c-887932ba4940> ; Stand 11.03.2013

# Anhang

## Anhang I – Versuchsprotokoll 1

### Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer 1	
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	Do. 18.10.2012 ;14:05 Uhr
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	Sa. 20.10.2012; 15:20 Uhr
Köder (Art, Menge)	Hundefutter (Bonzo)
Abfluss [l/s]	11,7l

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	27,1	11,5
Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,461 (5cm)
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,481 (8cm)

Tiere Versuchsgruppe1				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	M	76,0	12,0	-
2	M	60,3	13,0	Nur eine Schere
3	M	35,0	11,0	-
4	M	41,4	11,5	Zwei Beine fehlen
5	M	40,2	10,8	-
6	M	32,1	10,6	-
7	M	56,1	13,0	-
8	M	28,8	10,6	-

## Anhang II – Versuchsprotokoll 2

### Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer 2	
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	So. 21.10.2012 ; 14:05 Uhr 13:10Uhr
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	Di. 23.10.2012; 15:20 Uhr 13:20Uhr
Köder (Art, Menge)	Hundefutter (Bonzo,8Stk.)
Abfluss [l/s]	8,7l

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	33,5	18
Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,214 (5cm)
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,218 (15cm)

Tiere Versuchsgruppe2				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	M	47,3	11,5	Nur eine Schere
2	M	48,6	11,5	-
3	M	36,3	10,6	-
4	M	56,0	13,0	Nur eine Schere
5	M	48,4	11,5	-
6	M	59,0	13,3	Nur eine Schere
7	M	17,7	8,5	-
8	-	-	-	-

## Anhang III – Versuchsprotokoll 3

### Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer 3	
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	Di. 23.10.2012 ;13:40Uhr
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	Mi. 24.10.2012; 13:40Uhr
Köder (Art, Menge)	Hundefutter (Bonzo,8Stk.)
Abfluss [l/s]	5,8l

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	33,5	18,2
Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,124 (5cm)
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,123 (15cm)

Tiere Versuchsgruppe1				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	m	76,0	12,0	-
2	m	60,3	13,0	Nur eine Schere
3	m	35,0	11,0	-
4	m	41,4	11,5	Zwei Beine fehlen
5	m	40,2	10,8	-
6	m	32,1	10,6	-
7	m	56,1	13,0	-
8	m	28,8	10,6	-

## Anhang IV – Versuchsprotokoll 4

### Versuchsprotokoll Krebs Sperre

Versuchsnummer 4	
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	Mi. 24.10.2012; 14:00Uhr
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	Do. 25.10.2012; 15:12Uhr
Köder (Art, Menge)	Hundefutter (Bonzo, 8Stk.)
Abfluss [l/s]	5,8l

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	29,0	13,6
Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,182 (5cm)
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,186 (10cm)

Tiere Versuchsgruppe1				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	M	76,0	12,0	-
2	M	60,3	13,0	Nur eine Schere
3	M	35,0	11,0	-
4	M	41,4	11,5	Zwei Beine fehlen
5	M	40,2	10,8	-
6	M	32,1	10,6	-
7	M	56,1	13,0	-
8	m	28,8	10,6	-

## Anhang V – Versuchsprotokoll 5

### Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer 5	
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	Do. 25.10.2012 ; 15:23Uhr
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	Fr. 26.10.2012; 15:40Uhr
Köder (Art, Menge)	Hundefutter (Bonzo,8Stk.)
Abfluss [l/s]	5,8l

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	29,0	13,6
Mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,182 (5cm)
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,186 (10cm)

Tiere Versuchsgruppe2				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	M	47,3	11,5	Nur eine Schere
2	M	48,6	11,5	-
3	M	36,3	10,6	-
4	M	56,0	13,0	Nur eine Schere
5	M	48,4	11,5	-
6	M	59,0	13,3	Nur eine Schere
7	M	17,7	8,5	-
8	-	-	-	-

## Anhang VI Bilder Versuch 1

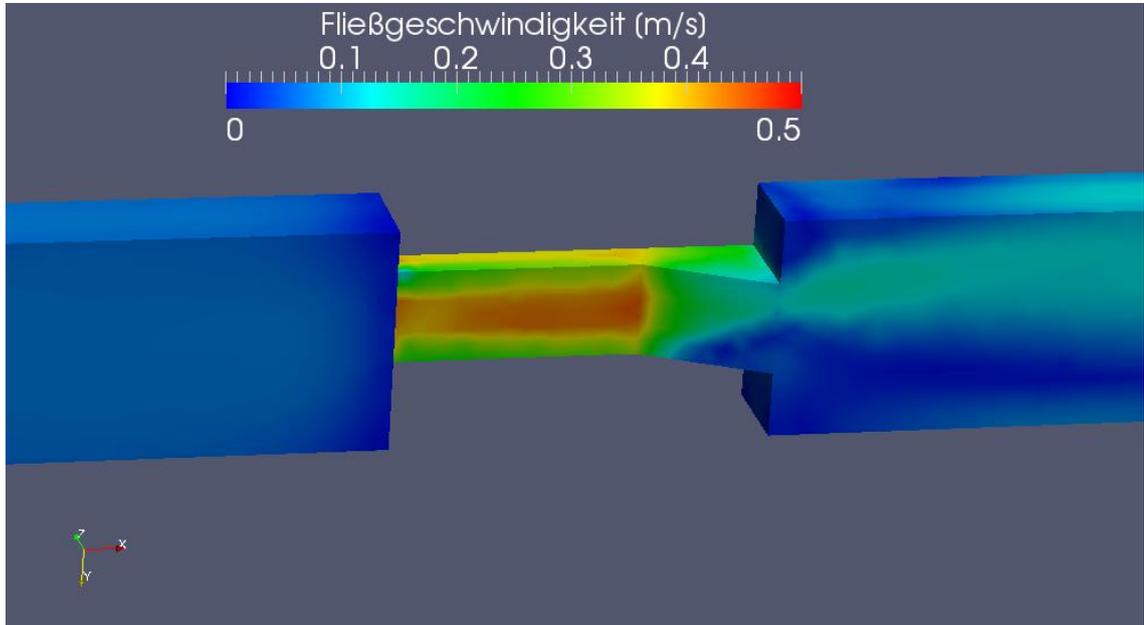


Abb. 8-1 Versuch 1 Detailaufnahme Sohle

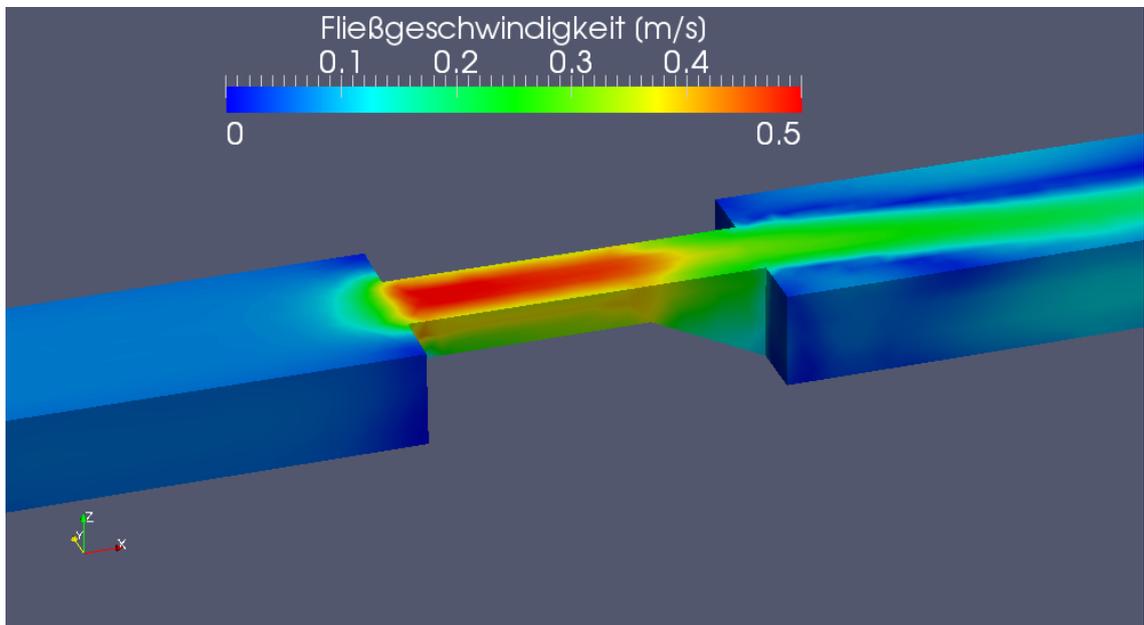


Abb. 8-2 Versuch 1 Detailaufnahme Krebsperre

## Anhang VII Bilder Versuch 2

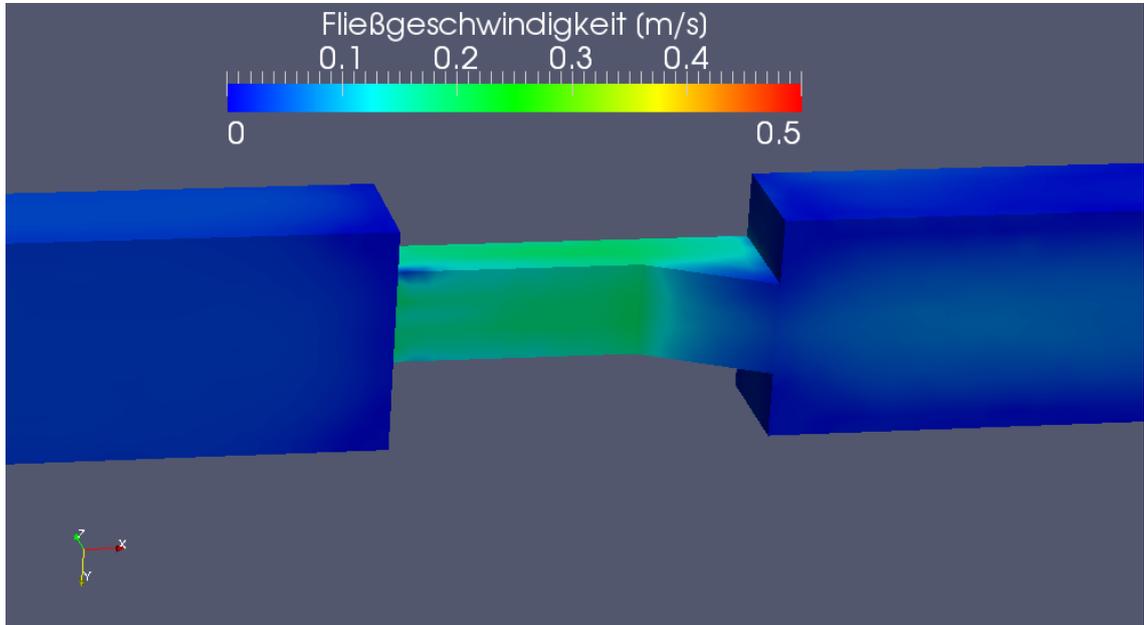


Abb. 8-3 Versuch 2 Detailaufnahme Sohle

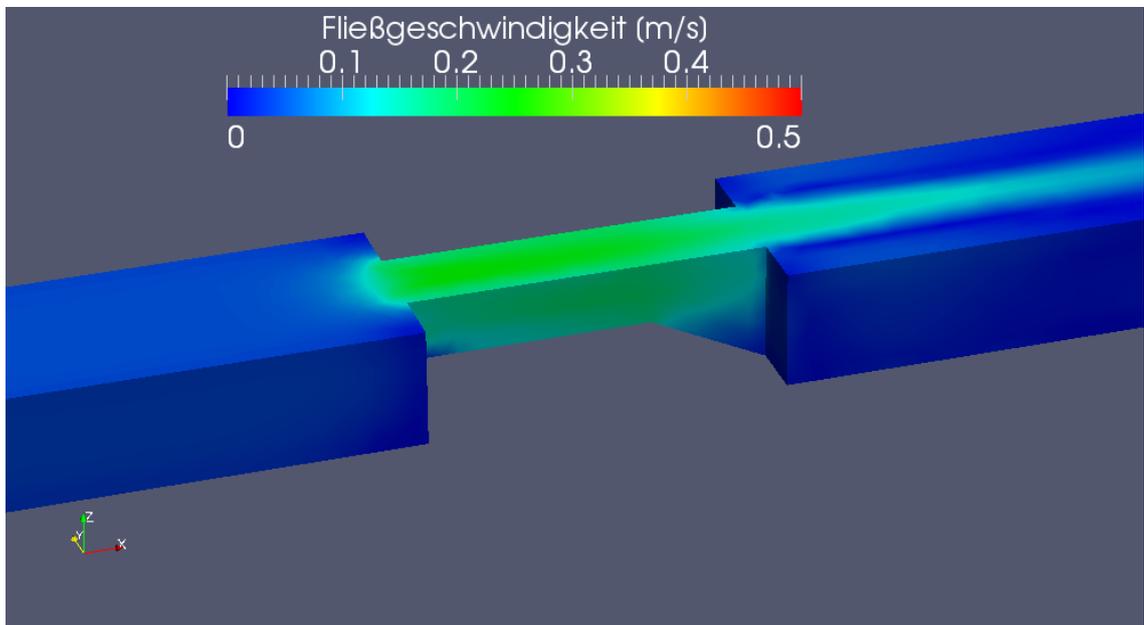


Abb. 8-4 Versuch 2 Detailaufnahme Krebsperre

## Anhang VIII Bilder Versuch 3

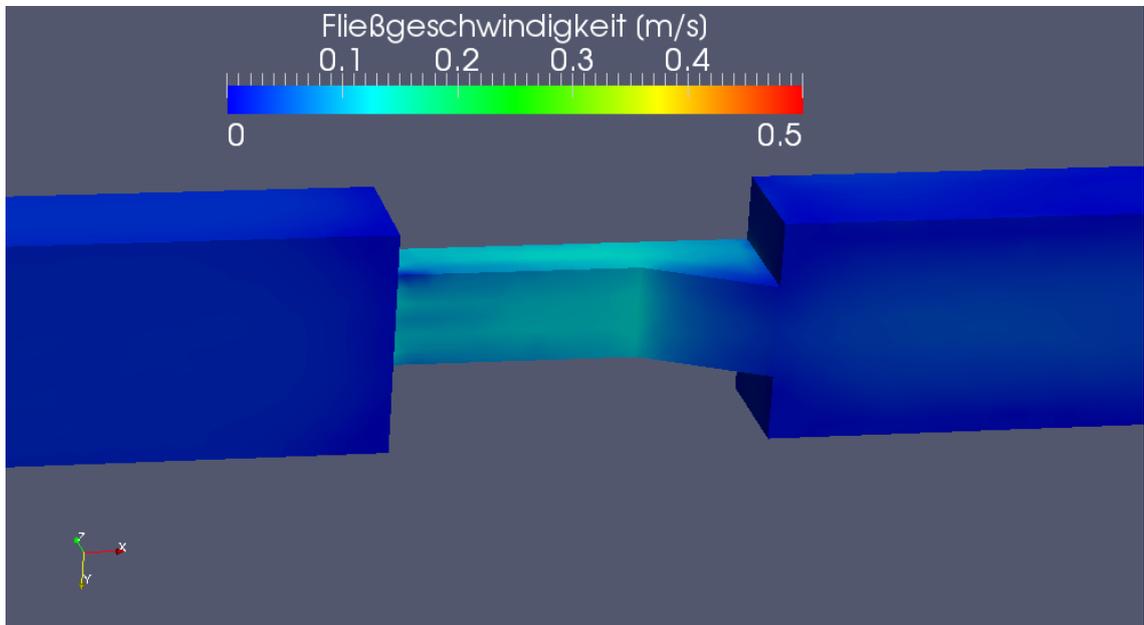


Abb. 8-5 Versuch 3 Detailaufnahme Sohle

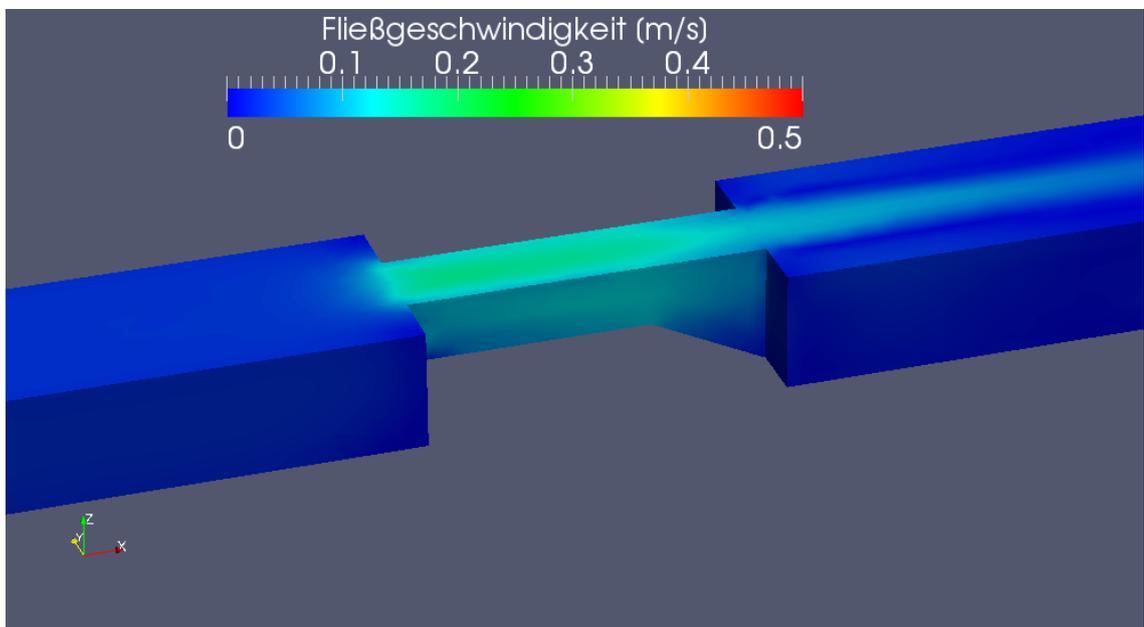


Abb. 8-6 Versuch 3 Detailaufnahme Krepssperre

## Anhang IX Bilder Versuch 4 und Versuch 5

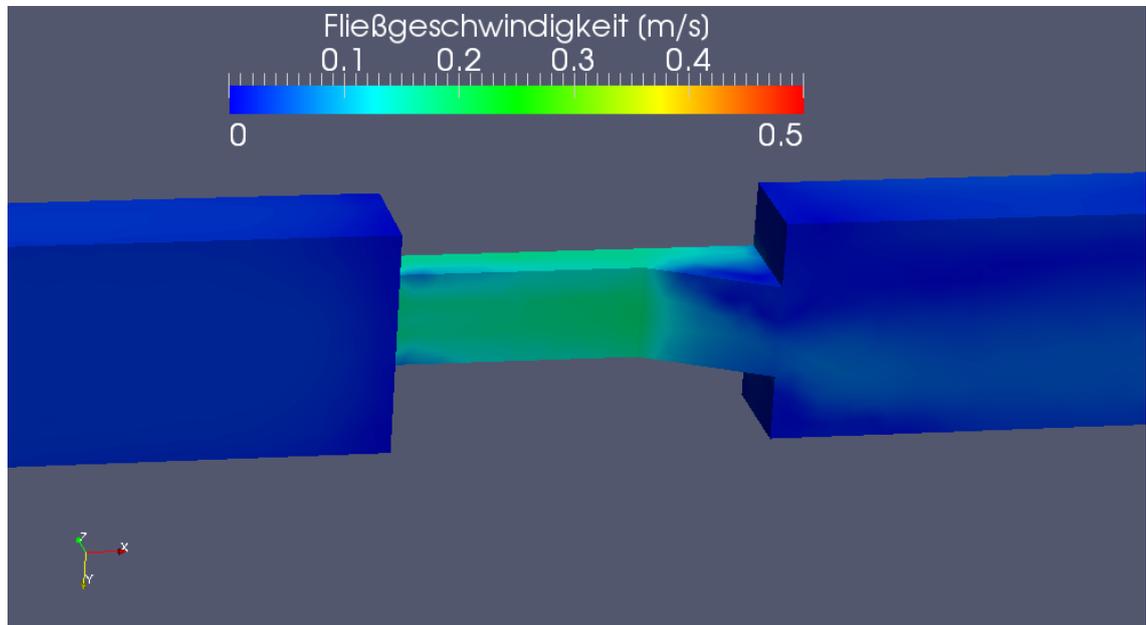


Abb. 8-7 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme Sohle

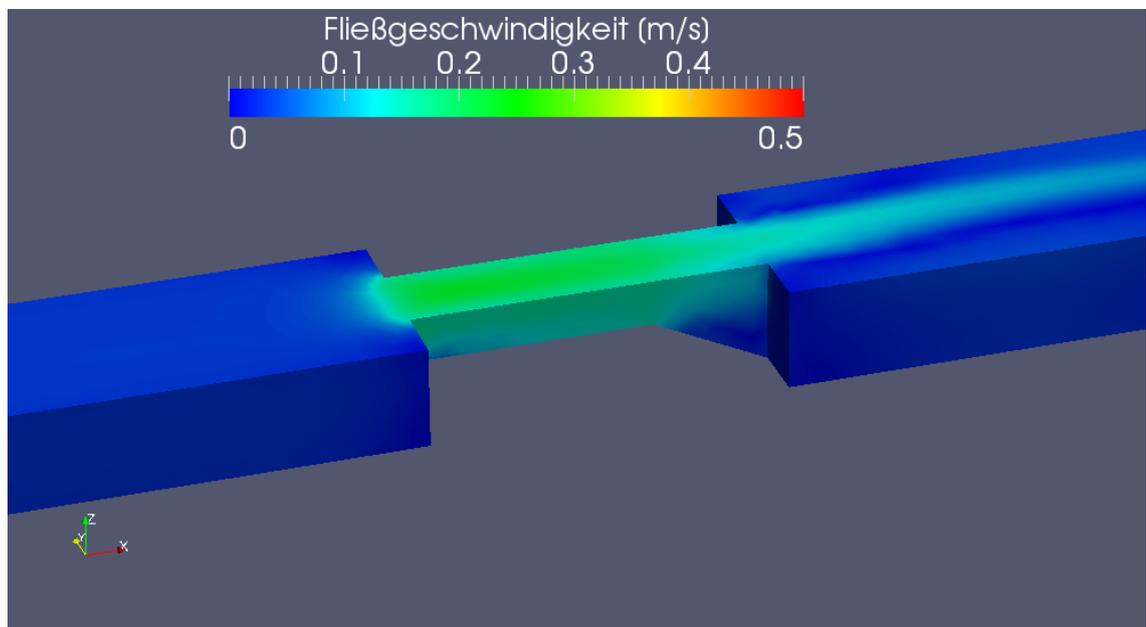


Abb. 8-8 Versuch 4 und Versuch 5 Detailaufnahme Krepssperre

## Anhang X DVD Bilder und Videos der Versuche

Versuch	Video	Beschreibung	Kamera
<b>1</b>	1	Vergebliche Versuche die Sperre durch laufen zu überwinden	3
	2	Wie bei Video 1	2
	3	Wie bei Video 1	1
	4	Versuch die Sperre durch laufen zu überwinden bei 1:15 min	3
<b>2</b>	1	Krebs überwindet Sperre durch laufen bei 14:00 min	1
	2	Krebs verharrt auf Sperre	1
	3	Wie bei Video 1	2
	4	Wie bei Video 2	2
	5	Mehrere Krebse auf Rampe, ab 11:00 min sind Kämpfe zu sehen und vereinzelte Schwimmbewegungen	3
	6	Mehrere Krebse halten sich lange auf Rampe auf	3
	7	Wie bei Video 1	3
	8	Wie bei Video 2	3
<b>3</b>	1	Krebs überwindet Sperre durch schwimmen bei 10:50 min	1
	2	Krebs verharrt am Ende der Sperre und kehrt bei 8:20 min in Startkammer zurück	1
	3	Krebs verharrt am Ende der Sperre	1
	4	Wie bei Video 1	2
	5	Zahlreiche Kämpfe, dann wie bei Video 1	3
<b>4/5</b>	1	Krebs überwindet Sperre durch laufen bei 5:50 min, kommt bei 12:15 min zurück, dann wieder Richtung Endkammer	2
	2	Krebs kommt bei 6:00 min zurück in Startkammer	2
	3	Krebs überwindet Sperre durch schwimmen bei 11:45 min	2
	4	Kampf um strömungberuhigten Bereich	3
	5	Vergebliche Versuche die Sperre durch laufen zu überwinden	3
	6	Einsetzen der Krebse in Startkammer	3

