



Entwicklung einer fischdurchgängigen Krebsbarriere

Bachelorarbeit

an der
Hochschule Ostwestfalen-Lippe

vorgelegt von:
Denise Herrmann

Betreuer:
Prof. Dr. Ing. K. Rathke
Dr. B. Beinlich

Höxter, August 2011

Zusammenfassung/Abstract

Die Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) der Europäischen Gemeinschaft fordert für die Gewässer Deutschlands bis 2015 bzw. 2027 einen guten ökologischen Zustand. Einer der wesentlichen Faktoren, den es damit zu erfüllen gilt, ist die ökologische Durchgängigkeit aller Fließgewässer. Doch einige Querbauwerke haben zum Teil auch eine Schutzfunktion. Sie unterbinden die Ausbreitung von eingeschleppten Tierarten und können das Eintragen von Krankheiten in andere Gewässerabschnitte verhindern.

Die heimische Flusskrebbsfauna, insbesondere der europäische Edelkrebs (*Astacus astacus*), braucht den Schutz der Wanderbarrieren. Nur wenige Populationen der streng geschützten Art sind noch in isolierten Abschnitten der Oberläufe anzutreffen. Die für ihn tödlich verlaufende Krebspest wird von invasiven gebietsfremden Flusskrebsen übertragen. Vor allen der aus Nordamerika stammende Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*) bedroht die Edelkrebsbestände. Er breitet sich auch in den kühleren Oberläufen der Fließgewässer aus, ist tagaktiv, hat eine höhere Reproduktionsrate und ist auffallend aggressiv gegenüber dem Edelkrebs.

Dieser Konflikt, der aus der geforderten Durchgängigkeit der Fließgewässer gem. WRRL und dem Schutz heimischer Arten entsteht, ist mit Hilfe eines Kompromisses, einer fischdurchgängigen Krebsbarriere, zu lösen. Sie soll zum einen zumindest den Fischwechsel ermöglichen und zum anderen die Ausbreitung nicht heimischer Flusskrebse langfristig unterbinden. Basierend auf den ersten Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse (VAEßEN 2010), sollte die Krebsbarriere weiterentwickelt und die Wirksamkeit gesteigert werden. Dies geschah mit Hilfe von numerischen Berechnungen und Simulationen. An Hand von Visualisierungen räumlicher Strömungsverteilungen konnte eine als erfolgreich einzustufende Variante der Krebsbarriere konstruiert werden. Die Sperre besteht aus einer geneigten Fläche, sodass sie für Bodenfische, wie z.B. die Groppe (*Cottus gobio*), passierbar ist. Ein anschließender waagerechter Korridor dient als Verlängerung der Konstruktion und verhindert, 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. In anschließenden Versuchen mit Tieren erwies sie sich als wirksam. Gropfen waren in der Lage die Sperre zu überschwimmen (getestet bei 0,407 m/s). Signalkrebse wurden hingegen

auch bei niedrigen Strömungsbedingungen (bis zu 0,068 m/s) erfolgreich zurückgehalten. Dabei schienen die Turbulenzen von besonderer Bedeutung zu sein, denn die Geschwindigkeit an sich hätte die Krebse nicht aufhalten sollen.

Abstract

The Water Framework Directive of the European Parliament requires a “good ecological status” for all inland surface waters (rivers and lakes) by a set deadline. One major requirement is to restore linear continuity of all watercourses, which can only be provided by the removal or reconstruction of migration barriers. However, some barriers have a protective function. They stop the further spread of alien species and prevent the transport of diseases in other watercourse sections.

The indigenous crayfish fauna, in particular the European noble crayfish (*Astacus astacus*), requires conservation of migratory obstacles. Only a few populations of the strictly protected species are found in isolated parts of upper headwaters. A fungal disease which is imported from America, namely the 'crayfish plague', is the main reason for the extinction of native crayfish. This infection is transmitted by invasive American crayfish species which are established in German rivers and lakes. Primarily the American signal crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) is the greatest threat to the noble crayfish. It is spreading in cooler headwaters of rivers and is active during the day. Furthermore, it has a higher reproduction rate and is very aggressive towards the noble crayfish.

The resulting conflict between the required continuity of rivers according to water framework directive and the protection of indigenous species, can only be solved by a compromise: a physical crayfish barrier which allows fish migration. On the one hand it has to prevent the upstream movement in new catchments of the non-indigenous signal crayfish whereas on the other hand, fish should be able to pass it. Based on previous studies of Vaeßen (2010), the subject of this work was to develop and to enhance effectiveness of crayfish barrier. By numerical calculations, simulations and visualizations of flow distribution, it was possible to design a successful variation. The crayfish barriers shape consists of an inclined surface, so that it is passable for small fish such as bullheads (*Cottus gobio*). Moreover it is followed by a horizontal corridor as an extension of that barrier so that crayfish are

unable to swim through it at once. The cross section is reduced to achieve a higher flow velocity in the whole barrier. During experiments with bullheads and signal crayfish, it seemed to be effective. The bullheads managed to swim pass the crayfish barrier (tested at 0,407 m/s) but signal crayfish were not able to pass it successfully, not even at very low velocities (up to 0,068 m/s). The turbulences seemed to be of particular importance as the velocity itself should not have been a problem for the signal crayfish.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Ausgangslage und Problemstellung.....	1
1.2 Zielsetzung.....	1
2. Grundlagen.....	3
2.1 Die Wasserrahmenrichtlinie	3
2.2 Die ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer – Verbreitung und Auswirkungen von Neozoen	4
2.3 Der europäische Edelkrebs (<i>Astacus astacus</i>) und seine Gefährdung.....	5
2.4 Vorkommen des Edelkrebses im Emden Bach, Kreis Höxter	9
2.4.1 Der Emden Bach.....	11
2.5 Untersuchung zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse (Untersuchungen von VAEßEN, 2010).....	12
2.5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse (VAEßEN, 2010)	14
2.6 Generelle Anforderungen an eine fischpassierbare Krebs Sperre.....	16
3. Material und Methode	19
3.1 Erstellung numerischer Darstellungen zweier ausgewählten Versuchsreihen von VAEßEN (2010).....	19
3.2 Versuchsaufbau und -ablauf	22
3.2.1 Fließrinne	23
3.2.2 Versuchskammer und Barriere.....	23
3.2.3 Versuchstiere	26
3.2.4 Versuchsablauf.....	29
3.3 Zusatzversuch zur Überwindbarkeit der Barriere mit der Groppen	32
4. Ergebnisse.....	34
4.1 Ergebnis und Interpretation der numerischen Darstellung im Vergleich zu den Videoaufnahmen von VAEßEN (2010).....	34
4.2 Weitere Varianten der Krebs Sperre in der numerischen Darstellung.....	37
4.3 Die entwickelte Krebs Sperre in der numerischen Darstellung.....	38
4.4 Die entwickelte Krebs Sperre im Versuch mit Signalkrebsen	40
4.5 Die entwickelte Krebs Sperre im Versuch mit Groppen	43
5. Diskussion/Ausblick.....	45
5.1 Vergleich der entwickelten Krebs Sperre mit den Versuchen von VAEßEN (2010).....	45
5.2 Verhalten der Signalkrebse	46
5.3 Verhalten der Groppen.....	47
5.4 Erweiterungen der Sperre und Monitoring	48
5.5 Die Krebs Sperre im Emden Bach als Praxisbeispiel	50

Fazit.....	55
Literatur- und Quellenverzeichnis	55

Anhang

- Anhang I Übersicht aller in Nord-Rhein Westfalen vorkommenden Flusskrebsarten
- Anhang II Übersichtskarte des Gewässerkomplexes Grund- und Emden Bach,
inkl. Querbauwerke
- Anhang III Daten zum Emden Bach
- Anhang IV Versuchsprotokolle Vaeßen 2010
- Anhang V Versuchsprotokolle

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarte: Beprobte Standorte und Flusskrebsvorkommen im Brucht- und Aa- Gewässernetz.....	11
Abbildung 2: Skizze des Aufbaus bei den Untersuchungen von Vaeßen genutzte Versuchskammer (vereinfacht)	14
Abbildung 3: Schwimmender Flusskrebs bei erfolgreicher Barrierenüberwindung ...	15
Abbildung 4: Variante "passierbar", 3D in RHINOCEROS.....	20
Abbildung 5: Variante "nicht passierbar", 3D in RHINOCEROS	21
Abbildung 6: Skizze des Versuchsaufbaus (vereinfacht)	24
Abbildung 7: Barrierenkonstruktion, eingebaut in Kipprinne	25
Abbildung 8: Signalkrebse vor der Krepssperre, die Sohle ist mit Kies bedeckt.....	26
Abbildung 9: Signalkrebs (<i>Pacifastacus leniusculus</i>).....	27
Abbildung 10: Krebsreufe aus Kunststoff	27
Abbildung 11: Hälterbecken.....	29
Abbildung 12: „Kamera Sperre“	32
Abbildung 13: „Kamera Korridor“	32
Abbildung 14: Groppe (<i>Cottus gobio</i>) auf dem Kiesbett in der Fließrinne.....	33
Abbildung 15: Geschwindigkeitsskala	35
Abbildung 16: Geschwindigkeitsverteilung, Variante "passierbar"	36
Abbildung 17: Geschwindigkeitsverteilung, Variante "nicht passierbar".....	37
Abbildung 18: Geschwindigkeitsverteilung, Variante A	38
Abbildung 19: Geschwindigkeitsverteilung, Variante B.....	38
Abbildung 20: entwickelte Krepssperre, 3D in RHINOCEROS	39
Abbildung 21: Geschwindigkeitsverteilung, entwickelte Krepssperre	39
Abbildung 22: mehrere Krepse gleichzeitig auf der geneigten Fläche der Sperre	42
Abbildung 23: Groppe schwimmt über die Krepssperre	44
Abbildung 24: Geschwindigkeitsverteilungen oben: passierbare Variante, unten: entwickelte Krepssperre	46
Abbildung 25: einfache Rechenkonstruktion aus Holz zum Zurückhalten von Geschwemmsel an einem namenlosen Nebengewässer des Heubachs	49
Abbildung 26: Q1: Fünfstufige Kaskade am Emdler Bach.....	50
Abbildung 27: Q2: Unterführung des Emdler Bachs unter der B252	51
Abbildung 28: Skizze Flussquerschnitt mit eingebauter Sperre.....	52

1. Einleitung

1.1 Ausgangslage und Problemstellung

Die Wiederherstellung der ökologischen Durchgängigkeit in Fließgewässern, die in der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) gefordert wird, kann dazu führen, dass tierischen Invasoren eine unerwünschte Verbreitung ermöglicht wird. So sind besonders heimische Flusskrebssarten, wie der europäische Edelkrebs (*Astacus astacus*), der Steinkrebs (*Austropotamobius torrentium*) und der Dohlenkrebs (*Austropotamobius pallipes*) durch amerikanische Flusskrebse als Überträger der Krebspest (*Aphanomyces astaci*) erheblich bedroht.

In einem isolierten Abschnitt des Emders Bachs konnte im Rahmen von Untersuchungen zu Flusskrebsvorkommen des Naturkundlichen Vereins Egge-Weser eine Edelkrebspopulation nachgewiesen werden. Nur durch eine Anzahl von unpassierbaren Querbauwerken werden sie von dem amerikanischen Signalkrebs getrennt.

Werden diese Querbauwerke als letzter wirksamer Schutz des Edelkrebsbestandes im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen beseitigt, wäre eine Vernichtung der Edelkrebspopulation durch ein nahe gelegenes Signalkrebsvorkommen unabdingbar. Der Konflikt zwischen dem Schutz heimischer Arten und der geforderten Durchgängigkeit bzw. einem ungehinderten Fischeaufstieg gem. der WRRL, ist nur durch einen Kompromiss in Form einer selektiven Barriere zu lösen. Sie muss zum Einen die Fischdurchgängigkeit gewährleisten, zum Anderen als Wanderbarriere für gebietsfremde Flusskrebse wirken.

1.2 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Krebsbarriere, um die heimische Flusskrebsfauna, insbesondere den Edelkrebs im Kreis Höxter, zu sichern und gleichzeitig die Durchgängigkeit für Fische zu gewährleisten. Aufbauend auf bereits durchgeführten Laboruntersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse (Susanne Vaeßen, RWTH Aachen, 2010) soll im Rahmen dieser Arbeit eine Krebsperre entwickelt werden. Die Ergebnisse sollen schließlich zu einem Entwurf einer Krebsperre für den Gewässerkomplex Emders- und Grundbach bei Brakel (Kreis Höxter) ausgearbeitet werden. Diese

Untersuchungen wurden im Rahmen des Pilotprojekt „Maßnahmen zum nachhaltigen Schutz der heimischen Flusskrebsbestände vor invasiven gebietsfremden Flusskrebsarten“ vorgenommen. Initiator dieses mit EFF-Mitteln der EU geförderten Pilotprojektes ist der Fischereiverband NRW. Mit der Durchführung des dreijährigen Projektes (2010 – 2012) wurde das Edelkrebsprojekt NRW betraut.

2. Grundlagen

2.1 Die Wasserrahmenrichtlinie

Die Richtlinie des europäischen Parlaments und des Rates zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (Richtlinie 2000/60/EG), die sogenannte Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), trat am 22.12.2000 in Kraft. Damit ist ein Programm zum Schutz der Gewässer verabschiedet worden, welches für alle Mitgliedstaaten der EU verbindlich ist.

Mit der WRRL soll sichergestellt werden, dass die Binnenoberflächen-, die Übergangs- und Küstengewässer sowie das Grundwasser geschützt und gleichzeitig jede weitere Verschlechterung des Zustandes aller Wasserkörper verhindert werden (Art. 4 Abs. 1a, WRRL). Als vorrangiges Umweltziel gilt es, für alle Oberflächengewässer einen guten ökologischen Zustand¹ - bzw. bei anthropogen erheblich veränderten Gewässern ein gutes ökologisches Potential² - bis 2015, spätestens jedoch 2027, zu erreichen oder zu erhalten (Art. 4 Abs. 1a, WRRL).

Erst wenn sich der aktuelle Gewässerzustand nur noch minimal von dem potentiellen natürlichen Zustand differenziert und sich ein möglichst naturnahes Fließgewässer entwickelt hat, ist ein guter ökologischer Zustand erreicht (vgl. KOLF 2006: 151). Zur Bewertung dieses Zustandes fließen u.a. biologische Qualitätskomponenten (die Zusammensetzung und Abundanz des Makrozoobenthos, der Fische, der Makrophyten und des Phytoplanktons) mit ein.

Einer der wesentlichen Faktoren, die es zu erfüllen gilt, um sich dem naturnahen Zustand eines Fließgewässers anzunähern, ist die Schaffung der Durchgängigkeit, welche durch Längs- und Querbauwerke häufig unterbunden wird. Im „Handbuch Querbauwerke“ (MUNLV NRW 2005: 38) definieren sich solche als *sämtliche künstlich in das Gewässer eingebrachte, quer durch das Gewässerbett verlaufende bauliche Strukturen*. Beispiele für Längs- und Querbauwerke sind Sohlenschwellen, Grund- und Stützwälle, Sohlenrampen, Sohlengleiten, Abstürze und Talsperren (vgl. DIN 4047, Teil 5: 12ff).

Die Gründe zur Errichtung solcher Barrieren sind vielfältig (Wasserkraftnutzung,

¹ Guter ökologischer Zustand: „Zustand eines Oberflächenwasserkörpers, der die Vorgaben der WRRL (Anhang V) für die entsprechende Einstufung anhand der biologischen Qualitätskomponenten erfüllt“ (Wassernetz NRW 2006: Teil 9. S. 12)

² Gutes ökologisches Potential: „Zustand von erheblich veränderten oder künstlichen Wasserkörpern, der nur gering vom besten erreichbaren Zustand (nach Durchführung aller technisch und wirtschaftlich möglichen Verbesserungsmaßnahmen) abweicht (Def. nach WRRL - Art. 2)“ (Wassernetz NRW 2006: Teil 9. S. 12)

Trink- sowie Brauchwassergewinnung, Sohlenstabilisierung, Hochwasserschutz, Schifffahrt, Freizeit etc.), die nachteiligen Folgen dagegen ähnlich: Störung des natürlichen Geschiebetransports, Veränderung der Strömungsverhältnisse oder Verschlechterung der Wasserqualität (vgl. MUNLV NRW 2010: 70). Insbesondere die Fischfauna und andere Fließgewässerorganismen leiden unter erheblichen Beeinträchtigungen. Viele Organismen wandern sowohl stromaufwärts als auch stromabwärts um Abdriftungen zu kompensieren oder um Laich- oder Nahrungshabitate aufzusuchen (vgl. MUNLV NRW 2005: 33f). Eine nicht vorhandene Durchwanderbarkeit der Fließgewässer unterbindet die Etablierung einer artenreichen und gewässertypischen Lebensgemeinschaft (vgl. LFU 2005: 7). Mit dem zusätzlichen Verlust an Habitatvielfalt können Wanderhindernisse zu einer Verschiebung der Artenzusammensetzung und der Artenstruktur führen. Im schlimmsten Fall kann dies das Aussterben einzelner Arten bewirken (vgl. MUNLV NRW 2010: 70). Der gute ökologische Zustand ist folglich durch Wanderbarrieren gefährdet.

Dementsprechend ist es unabdingbar Querbauwerke zurückzubauen oder zumindest passierbar zu gestalten. Letzteres kann einerseits mittels natürlicher Fischaufstiegs- bzw. Fischabstiegsanlagen, andererseits mit Hilfe technischer Bauweisen, oder Umgehungsgerinnen erreicht werden.

Um die Forderungen der WRRL umzusetzen, erarbeiten „Konzepte zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern“ (KNEF) Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen an Fließgewässern.

2.2 Die ökologische Durchgängigkeit der Fließgewässer – Verbreitung und Auswirkungen von Neozoen

Ohne die Wiederherstellung der Durchgängigkeit und eine Anbindung an die Nebengewässer kann der erforderliche „gute ökologische Zustand“ der Fließgewässer nicht realisiert werden (vgl. Kap. 2.1).

Neben der WRRL beschreibt auch die europäische Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (RICHTLINIE 92/43/EWG) (FFH-Richtlinie) im Sinne ihres Hauptziels „Erhaltung der biologischen Vielfalt“ die Notwendigkeit der ökologischen Durchgängigkeit von Fließgewässern. Zahlreiche Rechtsvorgaben des Bundes und der Länder

unterstützen ebenfalls diese Aussage und verlangen eine Gewähr des Fischwechsels (vgl. WHG: 2009, BNATSCHG: 2002, LFISCHG: 1994).

Jedoch haben Wanderhindernisse in Flüssen und Bächen auch eine Schutzfunktion, denn sie können die Ausbreitung von eingeschleppten Tierarten – den Neozoen³ – und anderen unerwünschten Tieren verhindern (vgl. LFU 2005: 29).

Durch die drei Haupteinschleppungsvektoren Aquakultur, Besatz und Schifffahrt werden fremde Arten in unsere Gewässer eingebracht und besiedeln diese (vgl. BFN 2008: 40). Auf Grund der angestrebten ökologischen Durchgängigkeit unserer Fließgewässer werden die Lebensräume besser miteinander verknüpft. Das hat zur Folge, dass sich die Fremdlinge bis in die letzten isolierten Oberläufe der Flüsse und Bäche ausbreiten können. Die Ansiedlung von Neozoen wirkt sich je nach angesiedelter Art unterschiedlich auf die autochthone Flora und Fauna aus. Neozoen können u.a. durch Herbivorie (Ernährung von Pflanzen) die Vegetation beeinträchtigen und verändern (z.B. Spanische Wegschnecke). Gleiches gilt für die Fauna durch Prädation (Ernährung durch Tiere, z.B. Goldfisch) und Konkurrenz (z.B. der amerikanische Ochsenfrosch). Außerdem besteht die Gefahr, dass Krankheiten eingetragen werden oder der Genpool durch Kreuzung mit indigenen (einheimischen) Arten verändert wird (vgl. EBENHARD 1988: 275).

Allerdings stellen die meisten Neozoen kein Naturschutzproblem dar, denn sie können sich in ihrer neuen Umgebung nicht etablieren und sie sterben. Ein kleiner Teil der gebietsfremden Arten kann jedoch unerwünschte Auswirkungen auf seine Umwelt verursachen. Durch starke Vermehrung breitet er sich intensiv aus. Dadurch gefährdet er die biologische Vielfalt seiner neuen Lebensräume, kann wirtschaftlichen Schaden verursachen und evtl. die Gesundheit des Menschen gefährden. Jene Zuwanderer beschreibt man auch als invasive Arten (NENTWIG 2010: 14ff).

Zu diesen invasiven Arten zählen auch amerikanische Flusskrebse.

2.3 Der europäische Edelkrebs (*Astacus astacus*) und seine Gefährdung

In Deutschland gibt es drei autochthone Vertreter der Flusskrebse: den Edelkrebs (*Astacus astacus*, Linnaeus 1758), welcher auch als europäischer Flusskrebs

³Neozoen: tierische Organismen, die nach 1492 absichtlich oder unbeabsichtigt durch den Mensch in ein für sie nicht heimischen Lebensräume gelangen (NENTWIG 2010: 13ff).

bezeichnet wird, den Steinkrebs (*Austropotamobius torrentium*, Schrank 1803) und den Dohlenkrebs (*Austropotamobius pallipes*, Lereboullet 1858). Letzterer ist der seltenste Flusskrebs in Deutschland und ausschließlich im südbadischen Raum aufzufinden (TROSCHER, BERG 1989: S. 117).

Sowohl der Steinkrebs als auch der Edelkrebs kommen in Nordrhein-Westfalen vor und genießen einen besonderen Schutzstatus: Sie sind gemäß der europäischen FFH-Richtlinie im Anhang V⁴ gelistet, gehören in der Bundesrepublik Deutschland zu den streng geschützten Arten und sind in der Roten Liste in NRW als „vom Aussterben bedroht“ eingestuft worden.

Dabei galt der größte (mit bis zu 18 cm von Kopf bis Schwanzspitze) unter den europäischen Krebsarten, der Edelkrebs, bis zum 19. Jahrhundert in Europa als ein begehrtes Nahrungsmittel (vgl. LUKHAUPT 2003: 88). Anzutreffen in reichhaltigen Beständen in Bächen, Flüssen und stehenden Gewässern, wurden sie in ganz Deutschland fischereilich genutzt (vgl. GROSS et al. 2008: 52).

Mittlerweile ist der Wirtschaftszweig der fischereilichen Nutzung komplett zusammengebrochen, da die ehemals großen Edelkrebsbestände heute nahezu vollständig vernichtet sind. Auslöser hierfür ist eine für alle europäischen Flusskrebsarten tödlich verlaufende Pilzerkrankung aus Amerika, die Krebspest (*Aphanomyces astaci*, Schickora 1906). Dieser eingeschleppte Fadenpilz trat 1860 zum ersten Mal in Europa auf und kann zum Erlöschen ganzer Krebspopulationen führen. Außerhalb seines Wirtes, des Krebskörpers, ist er bis zu 16 Tage im Wasser überlebensfähig und kann sich über schwimmfähige Sporen verbreiten. 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 (vgl. BEINLICH 2009: 54).

Die amerikanischen Krebsarten hingegen zeigen sich gegenüber der Krebspest überwiegend resistent, sofern ihr Immunsystem nicht schon durch andere Krankheiten geschwächt ist. Allerdings können sie den Erreger mit sich tragen und heimische Krebspopulationen durch ins Wasser ausgeschiedenen Sporen infizieren (vgl. www.bvet.de). Weitere Ansteckungsquellen sind erkrankte und tote Krebse sowie insbesondere der Mensch, der durch mangelnde Hygiene die Sporen an

⁴ Anhang V der FFH-Richtlinie: sind die Tier- und Pflanzenarten aufgelistet, die von gemeinschaftlichem Interesse sind und für deren Entnahme aus der Natur besondere Regelungen getroffen werden können.

seinen feuchten Stiefeln und Fischereigeräten wie Netzen etc. in bisher krebspestfreie Gewässer transportiert (vgl. GROSS 2009: 17).

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 (vgl. NENTWIG 2010: 35).

Mindestens vier nicht heimische Flusskrebsarten wurden in Deutschland eingebürgert und konnten sich verbreiten. Hierzu zählt der aus Südosteuropa stammende Galizische Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*, Eschscholtz 1823), sowie der Kamberkreb (*Orconectes limosus*, Rafinesque 1817), der Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*, Dana 1852) und der Rote Amerikanische Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*, Girard 1852), welche ursprünglich in Nordamerika beheimatet waren. Allein der Signalkrebs und der Kamberkreb sind gegen die Krebspest resistent, fungieren allerdings als Überträger (vgl. GROSS et al. 2008: 54ff).

Eine Tabelle zur Übersicht aller genannten Flusskrebsarten ist im Anhang I vorzufinden.

Nur wenige autochthone Edelkrebspopulationen blieben in isolierten Gewässern wie Teichen oder Baggerseen und in wenigen Oberläufen von Fließgewässern verschont (vgl. LUKHAUPT 2003: 88), denn selbst krebspestfreie amerikanische Flusskrebse stellen eine Bedrohung für den Edelkreb dar.

Dies trifft vor allem auf den Signalkrebs zu. Im Gegensatz zum Kamberkreb, breitet sich dieser auch in den kühleren Oberläufen der Fließgewässer aus (vgl. GROSS, 2003: 54ff). Die gebietsfremde Krebsart ist tagaktiv und auffallend aggressiv gegenüber dem Edelkreb. Zudem wächst sie schneller und hat eine höhere Reproduktivität (höhere Eizahl und eine frühzeitigere Geschlechtsreife) als der Edelkreb (vgl. MAIWALD 2007: 123). Man kann davon ausgehen, dass auch eine nicht infizierte invasive Signalkrebspopulation den Edelkreb durch ihre biologische Überlegenheit mittel- bis langfristig verdrängen wird. Daher sollte eine Ausbreitung von invasiven Flusskrebsarten unterbunden werden.

Neben der Einbürgerung ausländischer Flusskrebsarten und der mit ihnen eingeführten Krebspest stellen noch weitere Faktoren eine Bedrohung für den Edelkrebs dar:

- *Gewässerausbau*: Verlust der Lebensräume, Strukturarmut und hohe Fließgeschwindigkeiten in Folge von Gewässerbegradigungen, Verrohrungen und Überbauungen sowie Uferverbauungen führen zu einem Rückgang der Population (BOSCHI et al. 2003; MUNLV 2007).
- *Gewässerverschmutzung*: Der Edelkrebs reagiert empfindlich auf belastete Gewässer, die durch häusliche, landwirtschaftliche und industrielle Abwässer verunreinigt werden. Besonders empfindlich reagiert er auf Insektizide (Lukhaupt 2003: 88) und eine verschlammte Gewässersohle, verursacht durch Uferabbrüche, Erosion von Ackerflächen, Sedimenteintrag etc. (MUNLV NRW 2007: 222).
- *Künstlich erhöhter oder verfremdeter Fischbesatz*: Vor allem in den Stillgewässern sorgt ein hoher Besatz von Raubfischen (z.B. Aal) durch fischereiwirtschaftliche Maßnahmen für einen extremen Rückgang der Flusskrebspopulation (BEINLICH 2009: 57).

Der Schutz der heimischen Tier- und Pflanzenwelt ist in Deutschland generell eine gesetzliche Verpflichtung. Des Weiteren sprechen auch gewässerökologische Gründe für eine dauerhafte Erhaltung der heimischen Flusskrebsbestände. Der Edelkrebs besitzt nicht nur aufgrund der langen fischereilichen Nutzung eine kulturhistorische Bedeutung (vgl. SCHULZ et al. 2009: 79), sondern er spielt vor allem eine wichtige Rolle als Bioindikator für kleine Fließgewässer. Wegen seiner Lebensdauer (bis über 15 Jahren) zählt er zu den langlebigsten aquatischen Organismen. Außerdem ist die „Krebsdichte [...] in einem Gewässerabschnitt [...] eine direkte Folge der vorhandenen Lebensbedingungen“ (BOSCHI 2003: 69). Dadurch können die negativen oder positiven Gewässerzustände leichter lokalisiert werden (vgl. BOSCHI 2003: 69). Er ist ortstreu und verhältnismäßig leicht in Fließgewässern nachzuweisen (z.B. nächtliche Begehungen oder Einsatz von Krebsreusen) (vgl. BOSCHI 2003: 69).

2.4 Vorkommen des Edelkrebses im Emders Bach, Kreis Höxter

Im Kreis Höxter sind keine autochthonen Edelkrebsbestände mehr bekannt. Jedoch wurden Edelkrebse im Rahmen des „Artenschutzprojekt Edelkrebs“ in den Jahren 1998 und 2002, in unterschiedlichen Gewässern ausgesetzt, um eine Wiederansiedlung dieser heimischen Flusskrebse zu erreichen.

Eines dieser Gewässer ist der Emders Bach (s. Kap. 2.4.1). Er erfüllt überwiegend alle Kriterien, die bei Besatzmaßnahmen zu einer erfolgreichen Wiederansiedlung des Edelkrebses führen können. Die folgende Übersicht führt diese Voraussetzungen auf:

„Kriterien für eine erfolgreiche Wiederansiedlung des Edelkrebses

(nach BURK 2004 zitiert aus MICHEL et al. 2010: 25)

- Im Ansiedlungsgewässer und in sämtlichen Zuläufen dürfen keine gebietsfremden Flusskrebsarten vorkommen.
- Da sich Krebse auch über Land ausbreiten können, dürfen sich auch im Umkreis von 1.000 m um das Besatzgewässer keine Vorkommen gebietsfremder Flusskrebse befinden.
- Das Besatzgewässer sollte weitgehend frei von Aalen sein. Unnatürlich hohe Dichten von Flussbarschen, Forellen, Döbeln etc. sollten ebenfalls nicht vorhanden sein.
- Die sommerlichen Temperaturen in den potentiellen Besatzgewässern müssen über 15°C liegen.
- Die Gewässer müssen ausreichende Versteckmöglichkeiten bieten. Grabfähiges Substrat ist förderlich, da dies den Höhlenbau erleichtert.
- Die Wasserqualität des Besatzgewässers ist nachrangig, solange die Güteklasse II-III (= kritisch belastet) nicht unterschritten wird.“

Im Jahr 2010 konnte im Rahmen von Untersuchungen zu Flusskrebsvorkommen im Kreis Höxter von Seiten des Naturkundlichen Verein Egge-Weser, eine Population im Emders Bach bestätigt werden (vgl. MICHEL et al. 2010: 25).

In der nahe gelegenen Aa hingegen ist ein relativ großer Bestand des Signalkrebses im Bereich unterhalb von Bad Driburg bis Istrup und in einem Zulauf unterhalb von Bad Driburg (Hilgenbach) verzeichnet worden (s.o.). Es besteht die Gefahr, dass der Signalkrebs in naher Zukunft flussaufwärts aus der Aa über Nethe und Brucht bis in den Emders Bach vordringt und den dort etablierten Edelkrebsbestand dezimiert bzw. vollständig verdrängt. Abbildung 1 zeigt einen Überblick zu den erfassten

Flusskrebsvorkommen im Brucht- und Aa- Gewässernetz, Kreis Höxter.

Derzeitig führen engagierte Angler Maßnahmen zum Schutz des Edelkrebses durch, indem sie die Signalkrebse regelmäßig abfangen und so versuchen deren weitere Verbreitung einzudämmen. Des Weiteren können auch Querbauwerke, die für Signalkrebse nicht überwindbar sind, als indirekter Schutz der heimischen Flusskrebsfauna wirken (vgl. MICHEL et al. 2010: 26).

Mit der Entfernung bzw. dem Rückbau dieser Querverbauungen, wie es dem Ziel der WRRL zur Schaffung von Durchgängigkeit entspricht, kann dieser Schutz verloren gehen. Im Rahmen des KNEFs zum Gewässerkomplex Grund- und Emders Bach, ist der Erhalt einiger Querbauwerke kurz- bis mittelfristig vorgesehen. Aus langfristiger Sicht empfiehlt es den Ersatz dieser Querbauwerke durch eine fischdurchgängige Krebsbarriere (vgl. BIOPLAN 2011: 44). Eine Karte mit Querbauwerken des Emders Baches und des Grundbaches ist im Anhang II vorzufinden.

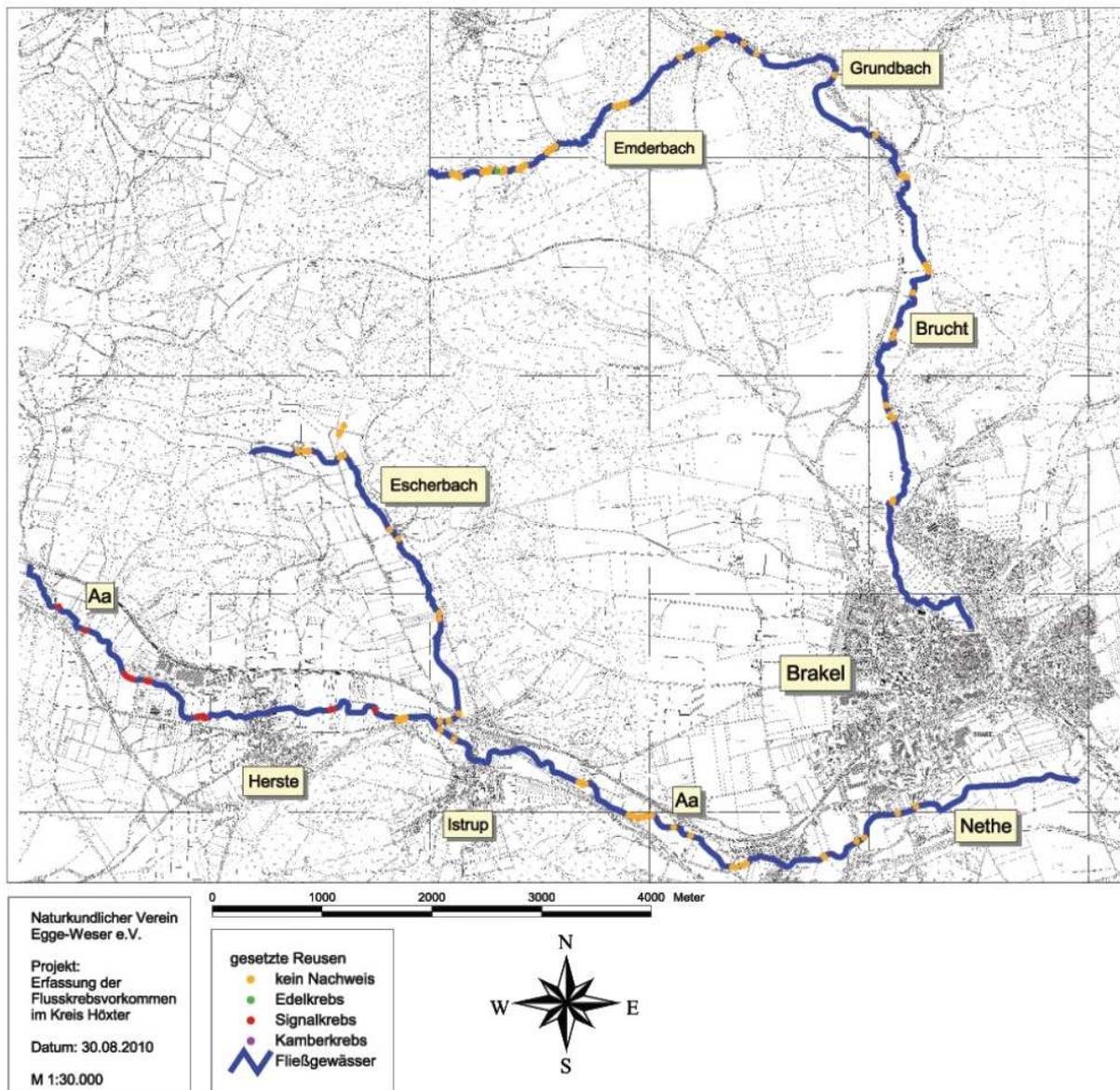


Abbildung 1: Übersichtskarte: Beprobte Standorte und Flusskrebsvorkommen im Brucht- und Aa-Gewässernetz (Quelle, verändert: MICHEL et al. 2010: 22)

2.4.1 Der Emder Bach

Der Emder Bach (Gewässerkennzahl: GEWKZ 452822) befindet sich im Gebiet der Stadt Nieheim (Kreis Höxter, Nordrhein Westfalen). Westlich von Bonhausen entspringend, ist er ein weitgehend naturbelassener Bach. Größtenteils fließt er durch geschlossene Waldgebiete, bis er die Ostwestfalenstraße (B252) unterquert und in den Grundbach mündet. Das Gewässer erstreckt sich auf einer Länge von 6,6 km. Die Größe des Einzugsgebietes beläuft sich auf 8,2 km² (Kennzahl des Einzugsgebiets: GEBKZ 452821) (vgl. BIOPLAN 2011).

Eine Karte zur Lage des Bachs (inklusive Querbauwerke im Emders Bach und Grundbach) ist im Anhang II zu finden.

Die vom Ing. Büro Turk im Jahr 1999 durchgeführten Gewässerstrukturgütekartierungen ergaben, dass der Emders Bach einen hohen Strukturreichtum (Schotterbänke, Totholzschwelen, Kolke etc.) aufweist (vgl. BIOPLAN 2011: 28).

Im Anhang III ist das Längsprofil des Emders Bachs zu finden. Sein Gefälle liegt im Durchschnitt bei 19,6 ‰. Der Jahresmittelwert des Gebietsniederschlages beläuft sich auf 980,3 mm (ELWAS, Bezugszeitraum 1980-2004) (vgl. Tabelle 1 im Anhang III). In den meisten Jahren ist das Abflussgeschehen des Emders Bachs wie folgt geprägt: im Winter führt er Hochwasser (gewöhnlich im Dezember/Januar und im Februar/März/April). Von Juni bis Oktober herrscht eine Niedrigwasserperiode (vgl. BIOPLAN 2011: 31).

Für den Emders Bach gibt es keine Pegelmessstellen. Die nächste Pegelmessstelle liegt an der Nethe und liefert damit für den Emders Bach keine aussagekräftigen Ergebnisse. Daher wird der mittlere Niedrigwasserabfluss (MNQ) und Mittelwasserabfluss (MQ) nach Uhden (VISCHER, HUBER 2007: 334) berechnet (s. Anhang III). Diese Größe dient nur als Anhaltswert zur groben Einschätzung. Nach der Berechnung ergeben sich für den Mittelwasserabfluss 190,98 l/s und für den Niedrigwasserabfluss 47,72 l/s. Insbesondere der Niedrigwasserabfluss muss bei der Auslegung der Krebsperre beachtet werden, damit diese ganzjährig funktionsfähig ist.

2.5 Untersuchung zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse (Untersuchungen von VAEßEN, 2010)

In den Untersuchungen im Rahmen der ersten Staatsprüfung an der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen von Susanne Vaeßen, die sich mit der „Untersuchung zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse“ (vgl. VAEßEN 2010) befasst, wurde erprobt, in welchem Zusammenhang die Neigung einer glatten Barriereplatte und die vorherrschende Strömungsgeschwindigkeit stehen. Ziel war es, den Sperrenneigungswinkel möglichst gering zu halten, damit auch Bodenfische, wie die Groppe, die Barriere

überwinden können.

Bei unterschiedlichen Winkeln der Sperrenplatte und verschiedenen Abflüssen wurde die Fließgeschwindigkeit vor Ort gemessen und festgestellt, ab welcher Kombination die Signalkrebse die Barriere nicht mehr überwinden konnten. Dabei sind auch die Verhaltensweisen, insbesondere das Schwimmverhalten der Tiere, an einer solchen Sperre mittels Videoaufnahmen beobachtet worden. Zusätzlich wurde untersucht, wie sich raue Materialien auf die Überwindbarkeit der Barriere auswirken und mit welcher Geschwindigkeit die Krebse im Aquarium schwimmen können.

Mit Ausnahme des Versuchs, in dem die Schwimgeschwindigkeit der Krebse in einem Aquarium gemessen wurde, wurden alle Untersuchungen in einer künstlichen Fließrinne durchgeführt. Die 30 m lange und 1 m breite Rinne wurde in zwei Versuchskammern eingeteilt. Dadurch konnten zwei Versuche zeitgleich bei zwei unterschiedlichen Neigungen stattfinden.

Eine Versuchskammer bestand aus einem Bereich oberhalb der Sperre, der Sperre selber und einem Bereich unterhalb dieser. In der sogenannten Startkammer, die unter der Barrierenkonstruktion liegt, wurde die Sohle mit einer 3D-Erosionsschutz-Krallmatte ausgelegt, um ein natürliches Bachbett zu simulieren. Die Sperrenplatte bestand aus einer glatten PVC-Platte, deren Neigungswinkel mit Hilfe von Profilschienen eingestellt werden konnte. Stromaufwärts des Wanderhindernisses befand sich ein Köderkörbchen, gefüllt mit Frolic (Trockenfutter für Hunde).

Die folgende Grafik (Abbildung 2) zeigt den skizzenhaften Aufbau der bei den Untersuchungen von VAEßEN genutzten Versuchskammer.

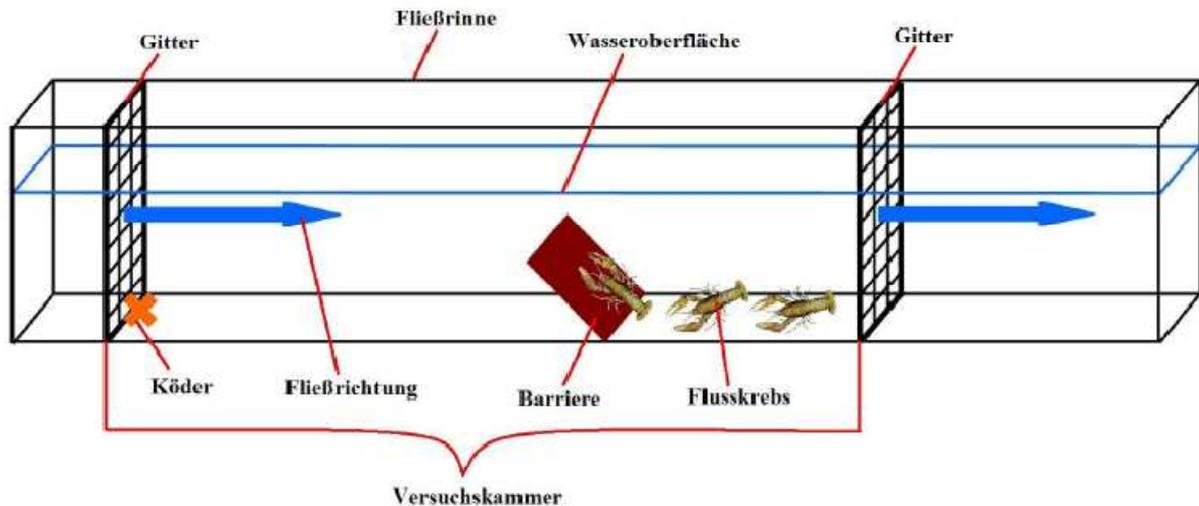


Abbildung 2: Skizze des Aufbaus bei den Untersuchungen von Vaeßen genutzte Versuchskammer (vereinfacht) (Quelle: VAEßEN 2010: 24)

VAEßEN führte sechs Messreihen mit sechs verschiedenen Abflüssen (10, 35, 56, 106-118, 135-140 und 160-170 l/s) und jeweils sieben verschiedene Winkeleinstellungen (0, 8, 16, 24, 32,40 und 48°) durch. Insgesamt fanden 26 Versuchsreihen je Versuchskammer statt. Pro Versuchsreihe wurde ein Abflusswert eingestellt und jeweils eine Winkelstufe pro Versuchskammer erprobt.

Die Versuchsdauer betrug 48 h. Eine Kamera filmte die Untersuchungen durchgehend. Sobald ein Individuum die Sperre überwand, wurde der Versuch vorzeitig abgebrochen. Ist innerhalb dieser Zeit kein Tier über die Sperre gekommen, galt diese Variante als „krebsumpassierbar“.

Die Strömungsgeschwindigkeit wurde unmittelbar über der Sperrenkante mittels eines Messflügels gemessen.

Jeder Versuch umfasste acht Signalkrebse. Die Tiere wogen zwischen 25,9 und 112,8 g und waren zwischen 9,5 und 13 cm lang.

2.5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse (VAEßEN, 2010)

Die Untersuchungen, die in Kapitel 2.5 beschrieben worden sind, ergaben folgende Ergebnisse:

- Eine absolut glatte Oberfläche der Barriere ist notwendig, um die Krebse erfolgreich zurückzuhalten. Andernfalls können die Tiere sowohl höhere Winkel,

als auch stärkere Strömungsverhältnisse bewältigen. Schon ein winziger Spalt konnte den Krebsen Halt bieten um die Sperre zu überklettern.

- Ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,531 m/s reichte bereits eine glatte, flach auf der Gewässersohle liegende Fläche als Barriere aus.
- Waren die Krebse nicht mehr in der Lage, die Barriere zu überlaufen oder zu überklettern, bedienten sie sich anderer Taktiken (s.u.).
- Teilweise schwammen die Krebse ohne Fremdeinwirkungen und ohne Fluchreflex über mehrere Sekunden zielgerichtet über die Sperre (s. Abbildung 3).
- Es konnte beobachtet werden, wie durch das Überklettern mehrerer Individuen eine Art „Räuberleiter“ gebildet wurde, um die Barriere zu überwinden.
- Im Aquariumversuch schwammen die Krebse max. 0,375 m/s. Während des Fließrinnenversuchs schafften sie es gegen Strömungsgeschwindigkeiten von 0,437 m/s anzuschwimmen. Bei Fließgeschwindigkeiten unterhalb dieses Wertes ist davon auszugehen, dass jeder Neigungswinkel überwunden werden kann. Oberhalb dieses Wertes zeigten die Tiere kein Schwimmverhalten mehr. Der Zusammenhang zwischen der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit und dem benötigten Sperrenneigungswinkel ist also erst ab einer Fließgeschwindigkeit von 0,437 m/s von Bedeutung.



Abbildung 3: Schwimmender Flusskrebs bei erfolgreicher Barrierenüberwindung (Quelle: VAEBEN 2010: 68)

2.6 Generelle Anforderungen an eine fischpassierbare Krepssperre

Damit die Krepssperre erfolgreich zum Einsatz kommt, muss sie gewisse Anforderungen erfüllen. Dabei werden die unterschiedlichen Eigenschaften in folgende Themen unterteilt:

Form und Materialien:

Wie in den Ausführungen zu den Ergebnissen der Untersuchungen von VAEßEN (vgl. Kap. 2.5.1) bereits beschrieben, muss die Oberfläche einer Krepssperre absolut glatt und korrosionsbeständig sein. Zudem sollte berücksichtigt werden, dass der Übergang von Sperrenplatte und Gewässerrand möglichst glatt verläuft, da die Versuche zeigten, dass schon ein kleiner Randspalt für ein Überklettern der Barriere ausreicht. Dementsprechend ist ein Material nötig, das nicht nur glatt, korrosionsbeständig und langlebig ist, sondern sich auch gut verarbeiten lässt, damit dieser Randspalt möglichst klein ausfällt. Das Material, welches alle oben genannten Kriterien erfüllt und sich somit am besten für die Oberfläche der Krepssperre eignet ist nichtrostender Stahl (Edelstahl). Alternativ eignen sich auch ebener Beton und Kunststoffoberflächen. Natürlich muss die Barriere auch eine gewisse Stabilität aufweisen, damit sie z.B. bei einem Hochwasserereignis standhaft bleibt. Für den Rahmen der Konstruktion würden Materialien wie Beton in Frage kommen.

Der Winkel der Sperre muss möglichst flach gegen die Fließrichtung eingebaut werden, um Kleinfischen ein Passieren zu ermöglichen (s.u.) und damit eine Kombination aus maximaler Durchgängigkeit und Schutz der heimischen Flusskrebssarten sicherzustellen (vgl. VAEßEN 2010: 21). Darüber hinaus müsste die Konstruktion verlängert werden, sodass sich die Distanz, die ein Krebs schwimmend zurücklegen muss, vergrößert. Insgesamt bedarf es einer einfachen Konstruktion, damit diese leichter an die unterschiedlichen Verhältnisse verschiedener Fließgewässer angepasst werden kann. Ist die Sperre zu aufwändig gestaltet, erfordern die Konstruktion und der Einbau hohe Materialkosten und einen großen Zeitaufwand.

Gewässermorphologie:

Bei der Wahl eines geeigneten Barrierestandortes im Gewässer ist zu beachten, dass das Wasser die Konstruktion mit einer Fließgeschwindigkeit überströmt, die es

dem Krebs unmöglich macht diese weder zu überklettern oder zu überschwimmen. Diese Strömung muss dabei auch während einem niedrigeren Wasserstande gewährleistet sein. Bei einem bordvollen Abfluss⁵ ist hingegen die Standsicherheit sicherzustellen. Denn steigt der Abfluss⁶, erhöht sich in der Regel auch die Fließgeschwindigkeit.

Besonders eignet sich ein Fließgewässerquerschnitt mit einem Kastenprofil, z.B. aus Beton, ein Querbauwerk in einer ähnlichen Form oder der Auslass in einem Fischpass. Denn „nur Querverbauungen, die bei allen Wasserständen nicht zu überklettern sind und auch die Uferbereiche mit einschließen, wirken als Barriere für Flusskrebse“ (vgl. GROSS 2003: 34).

Die Sperre muss leicht zugänglich sein, um Krebse regelmäßig zu entnehmen, denn wenn sich zu viele Krebse vor dem Konstrukt sammeln, kann es sein, dass sie weiter stromabwärts das Gewässer verlassen und die Barriere umwandern. Des Weiteren wurde in den Versuchen beobachtet, dass die Krebse bei einer höheren Dichte eine Art „Räuberleiter“ bilden, indem mehrere Tiere übereinander klettern (vgl. VAEßEN 2010: 70). Es ist zu vermuten, dass dieses Verhalten auch im Freiland gelten könnte. Die Zugänglichkeit der Barriere ist außerdem wichtig, um diese regelmäßig zu reinigen (von Algen und anderen Ablagerungen) und die Sperre von Geschwemmsel⁷ o.ä. zu befreien. Ansonsten könnte die Krebs Sperre innerhalb kurzer Zeit passierbar werden.

Leistungsfähigkeiten anderer aquatischer Organismen:

Damit bei der Krebs Sperre die Fischdurchgängigkeit gewährleistet wird, muss diese so ausgelegt sein, dass sie für Kleinfische passierbar ist.

Die Groppe, auch Mühlkoppe (*Cottus gobio*, Linnaeus 1758) genannt, ist im Anhang II der FFH-Richtlinie aufgeführt, so dass für ihre Erhaltung in NRW besondere Schutzgebiete ausgewiesen sind. Sie ist ein Bewohner der Gewässersohle und eine charakteristische Fischart der Oberen und Unteren Forellenregion (vgl. MUNLV NRW 2005: 28). Ihre Lebensräume beschränken sich auf strömungs- und sauerstoffreiche Fließgewässer.

Nach den Untersuchungen von VORDERMEIER (1999) sollten für die Mühlkuppen

⁵ Bordvoller Abfluss: Abflusszustand bei dem der komplette Gewässerquerschnitt gefüllt ist, bzw. das Wasser gerade nicht über die Ufer tritt

⁶ Abfluss: durchlaufende Wassermenge pro Zeiteinheit

⁷ Geschwemmsel: natürliches Treibgut aus Pflanzenresten (Laub und Holz)

Fließgeschwindigkeiten höher als $v \leq 0,5$ m/s an kritischen Stellen, so z.B. an Wanderhindernissen, vermieden werden, da die Überschwimmbarkeit für den Fisch bei höheren Fließgeschwindigkeiten nicht mehr gewährleistet ist. In bestimmten Fällen kann die passierbare Strömungsgeschwindigkeit Werte bis zu $v \leq 0,75$ m/s aufweisen, wenn es sich dabei um besonders kurze Abschnitte (< 1 m) handelt. Für die Mächtigkeit der Wassersäule über der Sperre empfiehlt sich eine Höhe von mindestens 10 cm. Die Barriere selbst darf maximal 0,10 bis 0,15 m hoch sein. Eine Wasserspiegeldifferenz zwischen Ober- und Unterwasser sollte möglichst vermieden werden, bzw. einen Wert von 0,05 m unterschreiten.

Da die Groppe im Vergleich zu anderen Kleinfischen (z.B. Elritze und Bachschmerle) in den Fließgewässern tendenziell ein schwacher Schwimmer ist, werden ihre Grenzwerte für die Leistungsfähigkeit als Richtwert betrachtet (vgl. VORDERMEIER 1999: 179ff).

Um eine Sperre auch für die Wanderungen der Benthosfauna⁸ durchgängig zu gestalten, muss die Sohle der Sperre natürlich gestaltet und durchgängig sein. Bei einer Konstruktion, die diese Ansprüche berücksichtigt, ist jedoch davon auszugehen, dass die nicht heimischen Krebsarten ebenfalls die Sperre überklettern können. Zwar sieht die Wasserrahmenrichtlinie die Durchgängigkeit der Gewässer neben den Fischen auch für die Benthosorganismen vor, doch müssen in diesem Fall die Prioritäten der einzelnen Indikatororganismen abwägt werden.

⁸ Benthos: alle Organismen, die in der Bodenzone eines Gewässers vorkommen

3. Material und Methode

Um die Krebssperre weiter zu entwickeln und ihre Wirksamkeit zu steigern, werden die Strömungen vorweg numerisch simuliert (s. Kap. 3.1). Im Gegensatz zu den bisherigen Untersuchungen von VAEßEN (2010), in denen die Fließgeschwindigkeit nur punktuell gemessen worden ist, ergeben sich durch die Berechnungen die Geschwindigkeitsverteilungen im Raum. Dadurch kann nachvollzogen werden, wie sich die Strömungen unter turbulenten Bedingungen über das Wanderhindernis und auf das Kletter- und Schwimmverhalten der Krebse auswirken können.

Zu diesem Zweck wurden zwei Varianten aus der Versuchsreihe von VAEßEN (2010) ausgewählt und berechnet: ein Versuch, in dem die Krebse die Sperre überschwimmen konnten, sowie ein weiterer, in dem es den Krebsen nicht gelang, diese durch Kletter- oder Schwimmversuche zu überwinden.

Basierend auf den Ergebnissen, die sich während dieser beiden Versuche abzeichneten, wurden weitere Varianten ausgearbeitet und getestet, um die Konstruktion zu optimieren. Zwei ausgewählte Varianten werden in Kapitel 4.2 vorgestellt. Schließlich wurde die Konstruktion der Krebssperre, die sich als am besten geeignet herausstellte, auch im Versuch mit Signalkrebsen getestet (s. Kap. 4.3)

3.1 Erstellung numerischer Darstellungen zweier ausgewählten Versuchsreihen von VAEßEN (2010)

Für eine numerische Strömungssimulation eigneten sich die Ergebnisse der Versuchsreihe 9 (Versuchsprotokoll im Anhang IV) besonders gut. Beide Versuche fanden zeitgleich bei demselben konstanten Abfluss statt. Eine Übersicht der relevanten abiotischen Faktoren ist in Tabelle 1 aufgeführt. Ausgehend von diesen Werten kann die numerische Strömung wie folgt berechnet werden:

Tabelle 1: Übersicht zu den abiotischen Werten der Versuchsreihe 9

Versuch 9		Sperre 1 („nicht passierbar“)	Sperre 2 („passierbar“)
Abfluss	[m³/s]	0,056	0,056
Neigungswinkel	[°]	32,4	24,3
Wassertiefe Unterstrom	[m]	0,36	0,36
Fließgeschwindigkeit Unterstrom	[m/s]	0,15	0,15
Fließgeschwindigkeit über der Sperre	[m/s]	0,44	0,50

Zuerst werden die versuchsrelevanten Abschnitte der Fließrinnen, demzufolge Versuchskammer 1 („nicht passierbar“) und Versuchskammer 2 („passierbar“), in dem 3D-Programm RHINOCEROS vereinfacht dargestellt. Dabei werden die Kammern im Unterwasser (Startkammer) um 1 m verlängert, da es zur Walzenbildung unmittelbar nach der Barriere kommen kann, die sich evtl. weiter ausdehnt als die ursprünglich gegebene Länge von 1 m. Des Weiteren wird die Konstruktion als Druckbehälter betrachtet, welcher der Höhe des Unterwassers von 0,36 m entspricht. Hierbei wird das Wasser somit durch eine weitere Wand, die allerdings reibungsfrei gesetzt wurde, nach oben hin begrenzt. Weil aufgrund der Größe der Fließgeschwindigkeiten nennenswerte Wasserspiegelveränderungen nicht auftreten, werden diese vernachlässigt und es wird auf eine 2-Phasen-Modellierung (Wasser – Luft) verzichtet.

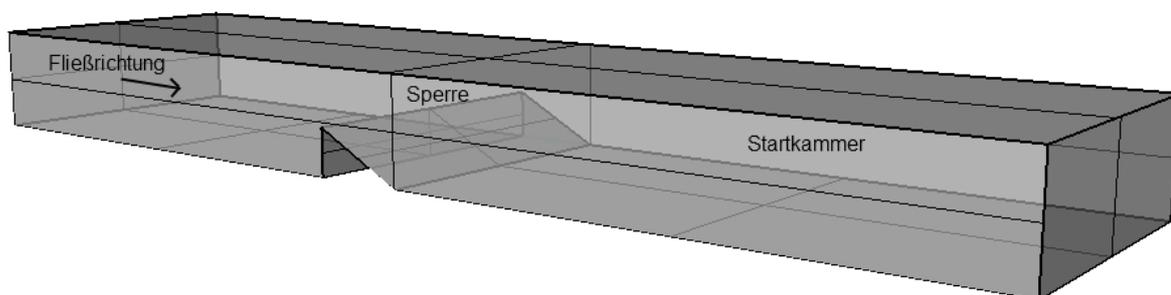


Abbildung 4: Variante "passierbar", 3D in RHINOCEROS

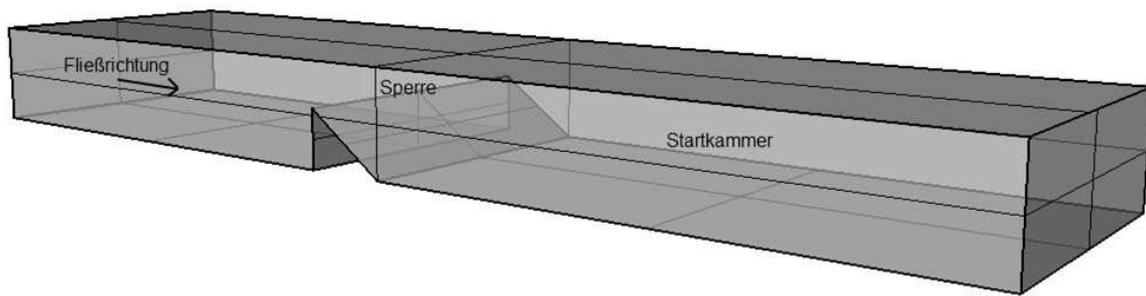


Abbildung 5: Variante "nicht passierbar", 3D in RHINOCEROS

Bevor die dargestellten Modelle (Abbildung 4 und Abbildung 5) als Rechengrundlagen dienen können, müssen 3D-Rechennetze erstellt werden. Dies geschieht mit Hilfe des Modellier- und Vernetzterprogramm GAMBIT. Bei dem Präprozessor⁹ ist zu beachten, dass einzelne Zonen benannt werden, damit sie später beim Setzen der Randbedingungen (Zufluss, Abfluss, Wände) leichter zu differenzieren sind. Mit Hilfe des CFD-Programms¹⁰ FLUENT wird das erstellte Netz eingelesen und die Modelldaten sowie die Randbedingungen festgelegt.

Die Berechnung der Turbulenz der numerischen Strömungssimulation erfolgt nach dem $k - \omega -$ Modell¹¹. Die Eingangsgeschwindigkeit beläuft sich auf 0,15 m/s (vgl. Kap. 2.5).

Randbedingungen wie die Rauheiten der Oberflächen, wurden dabei so gewählt, dass sie den Bedingungen im physikalischen Versuch entsprechen. Z.B. ist die Sohle im Unterwasser sehr rau, damit sie einem natürlichen Flussbett entspricht. Dagegen ist die Rampe im Unterwasser glatt, um den Tieren den Aufstieg zu erschweren. Die Rauheit des „Deckels“ (s.o.) entspricht Null, damit keine weiteren Turbulenzen von der Wasserfläche ausgehend entstehen können. Die genauen Werte können der folgenden Tabelle 2 entnommen werden:

⁹Präprozessor: Bezeichnung für Programme, die Eingabedaten vorbereiten, um sie zur weiteren Bearbeitung an ein anderes Programm weitergeben (hier: GAMBIT = Präprozessor, bereitet die Eingabedaten für FLUENT vor)

¹⁰CFD (Computational Fluid Dynamics): numerische Strömungsmechanik

¹¹ $k - \omega -$ Modell: ein weitverbreitetes Zweigleichungs-Turbulenzmodell

Tabelle 2: gewählte Rauheiten der Oberfläche einer Versuchskammer, die Werte stammen aus SCHNEIDER (2008: 13.12)

Zone	Rauheit [m]
Sohle OW	0,001
Sohle UW	0,01
Rampe OW	0,001
Rampe UW	0,0001
Seite LI	0,001
Seite RE	0,001
„Deckel“	0

Sobald alle wesentlichen Faktoren feststehen, werden die Strömungsbedingungen (Fließgeschwindigkeiten nach Größe und Richtung sowie Druck) in jedem Volumenelement von FLUENT iterativ ermittelt.

Danach werden die Simulationsergebnisse mit Hilfe des Programms PARAVIEW dargestellt. Zur besseren Übersicht wird nur der Zustand im Längsschnitt in der Mitte der Konstruktion auf einer sogenannten „Slice“ angezeigt. Die unterschiedlichen Färbungen zeigen die verschiedenen Fließgeschwindigkeiten. Sie sind in Kapitel 4.1 dargestellt.

3.2 Versuchsaufbau und -ablauf

Basierend auf den generellen Anforderungen an eine fischpassierbare Krepssperre (Kap. 2.6) und den numerischen Strömungssimulationen, ist für eine Versuchsreihe im Wasserlabor der Hochschule Ostwestfalen-Lippe – Abt. Höxter eine Krepssperre konstruiert worden. Das folgende Unterkapitel erläutert den Versuchsaufbau. Im Einzelnen werden Fließrinne, Versuchskammer und Barriere sowie die Versuchstiere genauer beschrieben. Des Weiteren wird der Versuchsablauf und ein zusätzlicher Versuch zur Überwindbarkeit der Barriere mit der Groppe dargestellt.

3.2.1 Fließrinne

Der Versuch fand in einer ca. 7 m langen Fließrinne von 0,6 m Breite und 1 m Höhe (entspricht der max. Füllhöhe) statt. Die Kipprinne¹² bestand aus einem mit Glasfenstern versehenen Stahlgerüst, dadurch gelang auch unterhalb der Wasseroberfläche eine Beobachtung der Tiere. Für den Versuch wurden fünf Kreiselpumpen verwendet, um einen konstanten Abfluss zu gewährleisten. Die potentielle Gesamtleistung der kleinen Pumpen belief sich auf 12,4 l/s. Für größere Abflüsse stand eine weitaus größere Umlaufpumpe zur Verfügung (max. Gesamtleistung: 210 l/s). Allerdings wurde diese, wie den Ergebnissen in Kapitel 4.4 zu entnehmen, nicht benötigt. Die Neigung der Kipprinne betrug während der gesamten Zeit 0°, so dass die Fließgeschwindigkeit nur über den Abfluss und den Rückstau geregelt werden konnte. Am Ende der Rinne befand sich ein verstellbares Wehr, mit dem man den Wasserstand durch einen Rückstau regulieren konnte. Damit konnte unmittelbar Einfluss auf die Fließgeschwindigkeit genommen werden: Wurde der Wasserstand bei einem konstanten Abfluss erhöht, sank die Strömungsgeschwindigkeit. Verringerte sich die Mächtigkeit der Wassersäule, floss das Wasser schneller.

Hinter dem Wehr stürzte das Wasser in einen Tiefbehälter mit einem Fassungsvermögen von knapp 90 m³. Von dort aus wurde es in einen Hochbehälter gepumpt. Über zwei Dreiecksmesswehre (90°) ist das Wasser schließlich wieder in die Kipprinne befördert worden. Dieser Wasserkreislauf gewährleistete eine hohe Sauerstoffkonzentration im Wasser.

3.2.2 Versuchskammer und Barriere

Ein Abschnitt der Fließrinne wurde durch einen mit Maschendrahtzaun bespannten Rahmen aus Dachlatten abgegrenzt. Dieser Rahmen erstreckte sich über die gesamte Rinnenbreite und -höhe. Damit gewährleistet werden konnte, dass die Krebse nicht aus der Rinne kletterten, wurde der Teil des Rahmens, welcher sich über der Wasseroberfläche befand, zusätzlich mit Teichfolie bedeckt. Diese Kammer war der Teil der Fließrinne, in dem die eigentlichen Versuche stattfanden – die

¹² Kipprinne: Synonym für Fließrinne

Versuchskammer.

Die Versuchskammer lässt sich in die Abschnitte Sperre, Startkammer und Endkammer unterteilen. Abbildung 6 zeigt eine vereinfachte Skizze des Versuchsaufbaus.

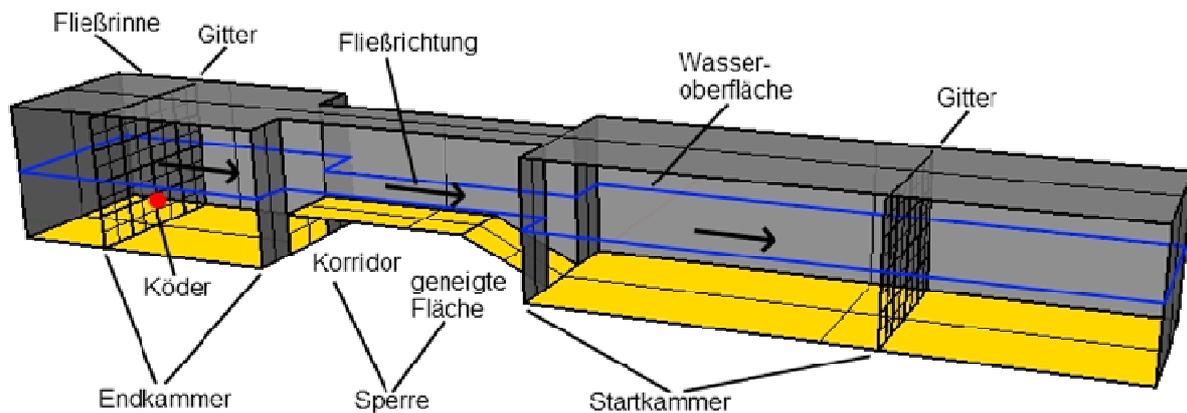


Abbildung 6: Skizze des Versuchsaufbaus (vereinfacht)

Die Barriere bestand aus einem Holzrahmen mit Edelstahlflächen (s. Abbildung 7). Insgesamt war die Konstruktion 1 m lang, 0,6 m breit und 0,5 m hoch. Dadurch passte sie genau in die Kipprinne. Damit es nur zu vernachlässigbar kleinen Verlusten des Abflusses kommt, wurden die kleinen Schlitz zwischen Rinne und Barriere mit Knetmasse abgedichtet.

Die eigentliche Sperre bestand aus einer geneigten Platte und einem anschließenden ebenen Korridor, welche in der Versuchsreihe aus einem Stück Aluminium (1 mm dick) geformt worden war. Zusätzlich gab es eine Verengung von beiden Seiten, so dass sich die Breite der Rampe und des Korridors auf 0,25 m belief. Die geneigte Fläche war 0,25 m breit und 0,35 m lang. Mit einem Winkel von $25,40^\circ$ überbrückte sie die Höhe des Korridors, die 0,15 m entsprach. Die Innenseiten der Verengung waren ebenfalls aus Aluminium. Für diese Versuchsreihe wurden die überstehenden Ränder der mittleren Metallplatte (Korridor und Rampe) durch eine nach oben abgerundete Kante und mit Hilfe eines Zweikomponentenklebers an den Metallwänden befestigt. Die dadurch aufliegende Kante von 1 mm erwies sich in einem Probedurchlauf nicht als Kletterhilfe für die Krebse, trotzdem wurden die Kanten für diese Versuchsreihe mit einem ausreichend großen Streifen Tesafilm abgeklebt. Des Weiteren wurden die kurzen Seiten der

Verengungen mit Teichfolie (Befestigung mit Heftzwecken) und Holz geschlossen. Die Hohlräume, die durch die Verengungen entstanden, sind mit Steinplatten beschwert worden. Diese verhinderten ein Aufschwimmen der Konstruktion.



Abbildung 7: Barrierenkonstruktion, eingebaut in Kipprinne

Die Fläche der Startkammer unterhalb der Barriere betrug anfangs knapp 1,5 m² (Versuch 1 und 2). Ab Versuch 3 wurde die Fläche auf ca. 0,5 m² verringert, um einen zusätzlichen Dichtestress zu erzeugen. Die Sohle der Startkammer ist mit Kies (mittlerer Korndurchmesser: 1 mm) ausgelegt worden, um ein möglichst naturnahes Bachbett zu simulieren und den Tieren genügend Halt am Fuß der Sperre zu gewährleisten (s. Abbildung 8).



Abbildung 8: Signalkrebse vor der Krepssperre, die Sohle ist mit Kies bedeckt

Die Endkammer bestand aus der Fläche oberhalb der Krepssperre und wurde nicht weiter verändert, da es für den Versuch irrelevant war, ob die Krepse nach einem erfolgreichen Passieren der Barriere weiter wandern konnten oder nicht.

Ein Köderkörbchen, welches aus Maschendrahtzaun bestand, wurde am oberen Ende der Endkammer befestigt und mit Frolic¹³ gefüllt. Dies diente zum Anreiz für das Passieren der Barriere. Mit einem kleinen Gewicht und einer Schnur, welche am Holzrahmen befestigt werden konnte, wurde das Körbchen in Position gehalten und war leicht zu erreichen, um den Köder auszuwechseln.

Alle Materialien wurden weitestgehend verschraubt und teilweise verklebt. Bei der Materialauswahl ist darauf geachtet worden, dass kein Tier zu Schaden kam.

3.2.3 Versuchstiere

Da die Krepssperren nicht heimische Flusskrepssarten davon abhalten sollen, sich in den Fließgewässern weiter zu verbreiten, wurden als Versuchstiere dementsprechend Signalkrebse (s. Abbildung 9) gewählt.

¹³ Laut VAEßEN (2010) erwies sich Frolic als Lockmittel äußerst wirkungsvoll (vgl. VAEßEN 2010: 35)



Abbildung 9: Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*)

Sie wurden von Herrn Schecht von der Fischereigemeinschaft Herste e.V. mit Hilfe von drei Krebsreusen aus Kunststoff (Typ: „PIRAT“, s. Abbildung 10), die von der Landschaftstation Höxter bereitgestellt worden sind, der Aa bei Herste (östlich von Bad Driburg), ca. 500 m flussabwärts von der Industriebrücke, entnommen. Die Krebskörbe waren vollständig mit Wasser bedeckt auf dem Grund des Baches ausgebracht. Sie wurden dabei gezielt an Plätzen positioniert, wo aufgrund der vorhandenen Strukturen mit dem Vorkommen der Signalkrebse zurechnen war (in einem Kolk, in unmittelbarer Nähe einer Totholzansammlung, etc.).

Als Köder diente das Hundetrockenfutter Frolic, welches mit Hilfe eines Köderkörbchens innerhalb der Reuse befestigt wurde.



Abbildung 10: Krebsreuse aus Kunststoff (Quelle: <http://www.engel-netze.de/smart5/deu/fanggeraete-reusen-aalkoerbe-zugnetze-wurfnetze/225-krebs-und-plattfischkoerbe/krebsreuse-korb-aus-kunststoff-braun-der.html> Stand: 07.07.2011)

Da die „aktive Phase“ der Signalkrebse erst kurz vor der Entnahme begann, dauerte eine Fangperiode zwischen 24 und 48 Stunden. Am 15.06.2011 und 01.07.2011 wurden dabei insgesamt 44 Exemplare mit Größen zwischen 6 und 15 cm und einem Gewicht zwischen 9,6 und 164,7 g (s. Anhang V) gefangen.

In der Zeit zwischen den Versuchen wurden die Krebse in vier bis fünf Hälterbecken (große Mörtelkübel aus Kunststoff) gehältert. Als Versteckmöglichkeiten dienten den Krebsen PVC-Rohre verschiedener Größen, leere Keramiktöpfe und große Steine. Da alle 48 Stunden ein Wasserwechsel stattfand, wurde darauf verzichtet, abiotische Werte wie pH-Wert, Leitfähigkeit etc. zu messen. Die Temperatur lag konstant bei 18°C. Die Luftzufuhr erfolgte mittels kleiner Pumpen und Luftschläuchen mit Bläschenverteiler, die durchgehend liefen (vgl. Abbildung 11). Um ein Herausklettern der Krebse zu verhindern, sind alle Schläuche sorgfältig am Beckenrand befestigt worden. Der Wasserstand im Becken wurde mit ca. 20 cm so niedrig gewählt, dass die Krebse – für den Fall eines Pumpenausfalls - in der Lage waren, auf die Steine zu klettern und an der Oberfläche zu atmen. Nur in den Hälterungsbecken fand eine regelmäßige Fütterung mit abwechslungsreicher Nahrung (Laub, zerdrückte Tiefkühlerbsen, Fischfutter, frische Fischinnereien, Frolic) statt.

Jeder Signalkrebs wurde gemessen, gewogen und dessen Geschlecht bestimmt. Die Länge der Tiere erschloss sich von der Spitze des Rostrums¹⁴ bis zum Schwanzende. Mittels einer Waage, mit einer Messgenauigkeit von 0,01 g, wurde das Gewicht der Krebse ermittelt. Das Geschlecht ließ sich über das Fehlen (Weibchen) oder Vorhandensein (Männchen) der Gonopoden¹⁵ bestimmen. Außerdem wurde vermerkt, ob Gliedmaßen fehlten oder verkümmert waren und ob andere Verletzungen vorhanden waren.

¹⁴ Rostrum: weit vorragender Stirnfortsatz

¹⁵ Gonopoden: Begattungsorgan



Abbildung 11: Hälterbecken

Am Ende der Versuche wurden die Tiere einzeln in siedendem Wasser fachgerecht getötet. Diese Methode ist die schnellste und daher die mit am wenigsten Qualen verbundene Tötung von Flusskrebsen.

3.2.4 Versuchsablauf

Vor Versuchsbeginn wurden zunächst folgende Parameter eingestellt oder gemessen:

Abfluss:

Da nur ein geringer Abfluss benötigt wurde, wurde dieser durch die Anzahl und Leistung der Kreiselpumpen (vgl. Kap. 3.2.1) begrenzt. In den Versuchen 1 und 2 belief sich die Leistung auf 8,7 l/s. Um bei der gleichen Fließgeschwindigkeit den Wasserstand über der Sperre und dem Korridor zu erhöhen, wurde in den darauffolgenden Versuchen eine weitere Kreiselpumpe angeschlossen. Damit erhöhte sich der Abfluss auf insgesamt 12,4 l/s.

Wasserstand:

Die Messung des Wasserstandes erfolgte sowohl in der Endkammer, als auch in der Verengung (im Korridor), jeweils in der Mitte des Querschnitts. Dies geschah mit Hilfe eines Stechpegels, der auf einem Messwagen auf der Fließrinne angebracht war. Dabei wurde darauf geachtet, dass bei allen Versuchen der gleiche Vermessungsort

gewählt war. Der Wasserstand wurde so eingestellt, dass die Fließgeschwindigkeiten unterhalb von 0,531 m/s lagen, da bekannt ist, dass bei diesen Fließgeschwindigkeiten schon eine glatte Fläche eine Barriere darstellen würde (s. Kap. 2.5.1). Die Mächtigkeit der Wassersäule wurde am Ende der Fließrinne durch ein verstellbares Wehr reguliert. Allerdings war es nicht möglich den Neigungswinkel des Wehres zu messen bzw. zu sehen. Es konnten bezüglich zur Neigung des Wehres keine Daten angegeben werden.

Mittlere Fließgeschwindigkeit:

Aus dem gegebenen Abfluss und der Höhe der Wassersäule konnte mit Hilfe der Formel nach Manning-Strickler ($Q = A * v \rightarrow v = Q/A$ mit $A = b * h$) mittlere Fließgeschwindigkeit errechnet werden. Bei einem konstanten Abfluss ist diese von der Querschnittsfläche abhängig. Da die Breite mit 0,6 m (in der Fließrinne) und 0,25 m (in der Verengung) ebenfalls konstante Werte hatte, war die Mächtigkeit der Wassersäule die einzige Variable, die es für die mittlere Fließgeschwindigkeit zu messen galt (s.o.). In einer offenen Fließrinne herrschen an verschiedenen Stellen im Querschnitt unterschiedliche Strömungsgeschwindigkeiten. Die Fließgeschwindigkeit ist z.B. an der Sohle und an der Seitenwand aufgrund der großen Reibung geringer als im ersten Drittel unterhalb der Wasseroberfläche, wo das Wasser in der Regel am Schnellsten fließt. Dementsprechend beschreibt die mittlere Fließgeschwindigkeit die Durchschnittsgeschwindigkeit des gesamten Querschnitts.

Punktuelle Fließgeschwindigkeit:

Die punktuelle Fließgeschwindigkeit wurde erst ab Versuch 3 mit Hilfe eines OTT-Messflügels (Typ: 54359) in der Verengung knapp über der Sohle und knapp unter der Wasseroberfläche gemessen. Damit konnten die Strömungsgeschwindigkeiten gemessen werden, welche auf die Krebse trafen, wenn sie sich zur ersten Kante der Barriere bewegten oder an der Oberfläche entlang schwimmend die Sperre zu Passieren versuchten. Der Messflügel zählte über eine festgelegte Messzeit von 30 Sekunden die Anzahl der Schaufelumdrehungen. Anschließend konnten mit Hilfe einer Formel vom Hersteller die Umdrehungen pro 30 Sekunden in m/s umgerechnet werden.

Nach Einstellung der strömungsrelevanten Faktoren (Abfluss und Wasserstand),

begann in der Startkammer die direkte Konfrontation der Signalkrebse mit der Sperre. Der Anreiz erfolgte über das bereits erwähnte Köderkörbchen mit dem Hundetrockenfutter Frolic. Abhängig von der Anzahl der Krebse in der Startkammer, belief sich die Menge auf 6 bis 8 Frolic-Ringe (s. Versuchsprotokolle im Anhang V). Der Versuchszeitraum wurde entsprechend den Versuchen von VAEßEN (2010) gewählt, somit dauerte ein Versuchsdurchgang 48 h. Ist es in diesem Zeitraum keinem Tier gelungen die Sperre zu überwinden, galt der Versuch als beendet, die Fließgeschwindigkeit als wirksam und als nicht passierbar. Ein vorzeitiger Versuchsabbruch fand nur statt, wenn ein Krebs die Barriere passieren konnte. Die Anzahl der Signalkrebse belief sich in den Versuchen 1 und 2 auf acht Tiere pro Versuchsdurchlauf. In den darauf folgenden Versuchen ist die Besatzdichte auf 15 Signalkrebse erhöht worden, um einen zusätzlichen Dichtestress zu verursachen. Nach 48 h in der Fließrinne, wurden die Krebse zurück in die Hälterbecken gesetzt und hatten eine mindestens 48-stündige Ruhephase mit einem ausreichenden Nahrungsangebot. In der Zwischenzeit wurde eine andere Gruppe von Krebsen in die Versuchskammer eingesetzt. Die Krebse hatten in der Versuchskammer keine Möglichkeit Nahrung aufzunehmen. In jedem Versuchsdurchlauf wurde mindestens ein Exemplar mit einer Verletzung, einem verkümmerten oder gar fehlenden Glied und eine ausgeglichene Anzahl an Männchen und Weibchen eingesetzt.

Die Überwachung des gesamten Versuches erfolgte durch zwei infrarotempfindliche Videokameras. Eine Kamera wurde so montiert, dass man die Kante der Sperre und den unmittelbaren Raum vor der Sperre beobachten konnte (s. Abbildung 12). Bei der Videokamera handelte es sich um eine Lupusnight – LE171N (im Folgenden „Kamera Sperre“ genannt) der Firma Lupus. Um den Korridor der Barriere zu überblicken (s. Abbildung 13), diente die zweite Kamera, eine Lupusnight LE137 („Kamera Korridor“) der gleichen Firma. Beide Geräte waren mit einem 1/3“ CCD-Sensor ausgestattet, allerdings ist bei der „Kamera Sperre“ ein höher auflösender Sony Super-HAD CCD-Sensor verarbeitet worden. Das führte zu einer höheren Bildqualität, die aber für den Vergleich mit dem bloßen Auge kaum zu unterscheiden war. Die Aufnahmen beider Kameras fanden aus der Vogelperspektive statt. Damit war es möglich, die Strategien und das Verhalten der Krebse sowohl vor, als auch in der Sperre durchgehend zu beobachten und zu dokumentieren. In beiden Geräten waren Infrarot-LEDs installiert („Kamera Sperre“: 36 LEDs, „Kamera Korridor“ 24 LEDs), um nicht nur am Tag, sondern auch während der Nacht gute Aufnahmen zu

gewährleisten. Des Weiteren wechselten sie automatisch entsprechend der Lichtverhältnisse zwischen Farb- und IR-Modus. Eine zusätzliche Unterstützung erhielten beide Kameras jeweils durch einem IR-Strahler (SAL 10, der Firma B&S Technology) (Abstrahlleistung: 2000mW).

Die durch die Kamera aufgenommenen Videosequenzen wurden durchgehend auf einem AEON – LE800 Rekorder mit eingebauter 320-GB-Festplatte gespeichert. Dadurch konnte das Verhalten der Tiere nachträglich im Schnelldurchlauf festgestellt und ausgewertet werden.



Abbildung 12: „Kamera Sperre“



Abbildung 13: „Kamera Korridor“

3.3 Zusatzversuch zur Überwindbarkeit der Barriere mit der Groppe

Die Konstruktion der fischdurchgängigen Krebsbarriere ist überwiegend so ausgelegt worden, dass die Groppe (s. Abbildung 14) diese erfolgreich überwinden können sollte. Da die Landschaftstation im Kreis Höxter Tiere zur Verfügung stellte, war es möglich, die in den bisherigen Versuchen verwendete Konstruktion auch mit Groppen zu testen.

Dazu wurden im Rahmen einer Elektrofischung am 19.07.2011 sechs Exemplare dem Pölinxer Bach bei Wrexen (einem Stadtteil von Diemelstadt im Landkreis Waldeck-Frankenberg, Nordhessen) entnommen. Weil bei drei Groppen aufgrund ihrer geringen Größe zu befürchten war, dass sie durch die Abspernung mit

Maschendraht bis in den Tiefbehälter des Wasserlabors gelangen, kamen letztendlich nur die drei größten Groppen mit einer Länge zwischen 11-13 cm im Versuch zum Einsatz.



Abbildung 14: Groppe (*Cottus gobio*) auf dem Kiesbett in der Fließrinne

Der letzte Versuchsdurchlauf mit Signalkrebsen lag mehr als eine Woche zurück und die Rinne konnte inklusive der Gerätschaften trocknen. Somit konnte eine Übertragung der möglichen Krebspest ausgeschlossen werden und die Versuche begannen direkt nach dem Erhalt der Groppen.

Der Versuchsablauf entsprach den vorangegangenen Versuchen mit den Signalkrebsen. In einem Zeitraum von 24 h wurde zunächst die Fließgeschwindigkeit getestet, bei der es keinem Krebs gelang, die Sperre zu überwinden. Nachdem eine Groppe die Barriere komplett überschwamm, wurde der Versuch beendet. Diese Kombination aus Barriere und Fließgeschwindigkeit wurde als für Groppen passierbar beurteilt (vgl. Kap. 4.5). Wäre es keinem Tier gelungen, die Barriere erfolgreich zu überschwimmen, wäre eine geringere Fließgeschwindigkeit erprobt worden.

Die Groppe lebt sehr revierbesitzend (BLESS 1990: 584), daher reichte die hohe Besatzdichte als Motivation aus und ein Köder war unnötig. Jedoch gruben sich die Groppen in den Kies auf der Sohle ein. Dadurch war der Druck durch die Bestandsdichte unwirksam und es kam zu keinen Schwimmversuchen. Aus diesem Grund wurde der Kies daraufhin weitestgehend entfernt. Zusätzlich wurden die Groppen vereinzelt mit einem kleinen Fischernetz aufgeschreckt. Damit konnte überprüft werden, ob die Groppe die Sperre grundsätzlich passieren konnte.

Am Ende der Versuchsreihe sind alle Groppen, bis auf ein Exemplar, welches den Versuch nicht überlebte, wieder in das Gewässer ausgesetzt worden, aus dem sie

stammen.

4. Ergebnisse

Das Ziel war es, eine fischpassierbare Krebssperre zu entwickeln. Aufbauend auf den Versuchen von VAEßEN (2010) wurden mehrere Konstruktionsvarianten getestet und deren Passierbarkeit durch Signalkrebse überprüft. Dabei stellte sich heraus, dass die Strömungsgeschwindigkeit eine entscheidende Rolle spielte. Letztendlich war sie ausschlaggebend dafür, ob die Sperre den Flusskrebs erfolgreich von einer Überquerung abhalten konnte.

Dementsprechend sind die Strömungen verschiedener Varianten der Krebssperre numerisch berechnet und visualisiert worden (vgl. Kap. 3.1). Dadurch kann man einen Einblick über die Geschwindigkeitsverteilungen im Raum erlangen. Unter Berücksichtigung dieser neu gewonnen Informationen wurde eine Krebssperre entwickelt, die auch im Versuch mit Signalkrebsen und anschließend mit Groppen getestet wurde. Die Ergebnisse werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

4.1 Ergebnis und Interpretation der numerischen Darstellung im Vergleich zu den Videoaufnahmen von VAEßEN (2010)

Wie in Kapitel 3.1 bereits erläutert, wurden die Strömungen zweier Versuche von VAEßEN (2010) simuliert. Das vorliegende Kapitel stellt nicht nur die erzielten Ergebnisse der numerischen Darstellung dar, sie werden auch direkt mit den Videoaufnahmen verglichen und interpretiert, da diese Erkenntnisse einen unmittelbaren Einfluss auf die Form weiterer Barrieren (Kap. 4.2) und letztendlich der entwickelten Krebssperre (Kap. 4.3) ausübt.

In dem Programm PARAVIEW können die Farben und die Geschwindigkeitsschritte der Skalen eigenständig festgelegt werden. Wie in Abbildung 15 zu sehen, wurden

die divergenten Geschwindigkeitsschritte zur Visualisierung in einer vierstufigen Farbskala dargestellt. Diese Skala gilt für alle numerischen Strömungsbilder, in denen die verschiedenen Fließgeschwindigkeiten abgebildet sind.

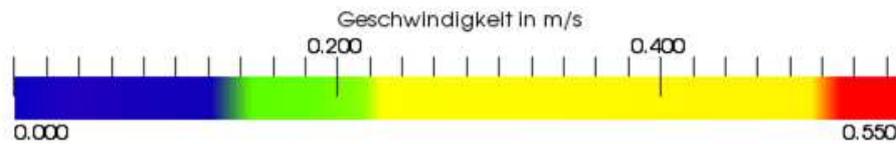


Abbildung 15: Geschwindigkeitsskala

Mit dem grünen Abschnitt werden Fließgeschwindigkeiten von 0,15 bis 0,22 m/s abgebildet. In diesem Abschnitt liegt die Eingangsgeschwindigkeit von 0,15 m/s. Fließgeschwindigkeiten, die in dem blau eingefärbten Abschnitt liegen (von 0 bis 0,15 m/s) stellen eine Verlangsamung gegenüber der Eingangsgeschwindigkeit dar. Der gelbe Abschnitt (0,22 bis ca. 0,45 m/s) dient als Übergangsbereich zwischen der Eingangsgeschwindigkeit (grün) und der roten Zone. Der rote Bereich beginnt bei ca. 0,45 m/s. Er umfasst die kritische Fließgeschwindigkeit, in der die Krebse nur selten in der Lage sind, gegen diese Strömung anzuschwimmen, wenn sie mit einem höheren Neigungswinkel der Barriere konfrontiert werden. Ist die Sperre niedriger, kann es sein, dass sie bis zu Fließgeschwindigkeiten von 0,50 m/s das Hindernis überwinden können. Alle Strömungsgeschwindigkeiten, die darüber hinaus gehen, sind unabhängig vom Neigungswinkel, nicht passierbar. Deswegen endet die Skala bei 0,55 m/s. In den Abbildungen 16 bis 19 wird die Fließrichtung von links nach rechts dargestellt.

Im Video zu der passierbaren Variante sieht man, dass es knapp 24 h nach Versuchsbeginn einem Krebs gelingt, das Hindernis zu überwinden. Zunächst erfolgen zahlreiche Kletterversuche der Probanden. Sie schaffen es scheinbar problemlos, bis zur Kante der Sperre zu gelangen. Doch es ist ihnen nicht gelungen über den Rand hinaus, bis auf die andere Seite zu kommen. Schließlich dreht sich ein Krebs gegen die Strömung und befördert sich durch Rückstöße direkt auf die andere Seite der Sperrenplatte. Dieser Rückstoß wird durch abrupte Schläge mit dem Schwanzfächer unter dem Bauch hervorgerufen. In der Literatur ist dieses Schwimmverhalten bisher als Fluchreflex (vgl. KAESTNER 1993) beschrieben worden. Es ist jedoch eindeutig, dass dieser Krebs zielgerichtet geschwommen ist.

Mit einem kurzen Blick auf das dazugehörige Strömungsbild (Abbildung 16) wird sofort deutlich, warum es den Krebsen gelingt, bis zu der Kante zu klettern, sie aber nicht weiter darüber hinaus kommen.

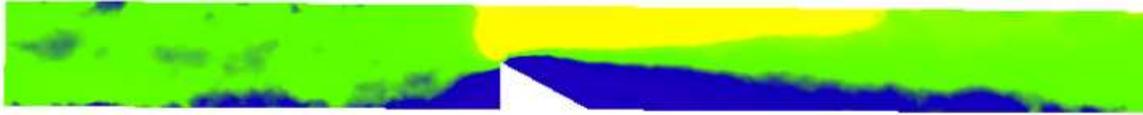


Abbildung 16: Geschwindigkeitsverteilung, Variante "passierbar" (Skala s. Abbildung 15, S. 35)

Bei konstantem Abfluss erhöht sich durch die Querschnittsverengung der Sperre die Fließgeschwindigkeit. In der Strömung unterhalb der Sperre kommt es durch Walzenbildung zu einem Geschwindigkeitsverlust, denn nach Passieren der plötzlichen Verengung breitet sich das Wasser wieder aus. In diesem Bereich sinkt die Geschwindigkeit und der Krebs kann wandern. Doch die Wirbel verändern die Strömungsrichtung auf der Sperrenplatte. Da Krebse immer bestrebt sind, gegen die Strömung zu laufen, eilten sie aufgrund des Strömungswechsels wieder in die entgegengesetzte Richtung. Gelang es schließlich einzelnen Exemplaren an der Kante zu verharren, wurden sie mit dem starken Aufstrom unmittelbar vor dem Rand der Sperre und der erhöhten Fließgeschwindigkeit konfrontiert. Dies führte meist zu einem Zurückschleudern in die Startkammer.

Kurz vor dem Versuchsende schwamm ein Krebs mit einem kurzem Stopp an dem Rand der Sperre bis weit über die Barriere hinaus. Es ist anzunehmen, dass sich dieses Exemplar einen Weg knapp über den Verwirbelungen und unterhalb der erhöhten Geschwindigkeit gesucht hat.

Im Video zu der nicht passierbaren Krebssperre, welche auf einem höheren Winkel (32,4°) eingestellt war, versuchte kein Exemplar zu schwimmen. Die Kletterversuche ereigneten sich nach dem selben Muster, wie bereits oben beschrieben.

Betrachtet man ausschließlich das numerische Strömungsbild (Abbildung 17), unterscheidet sich die Variante der der passierbaren (Abbildung 16) kaum von der nicht passierbaren Krebssperre.

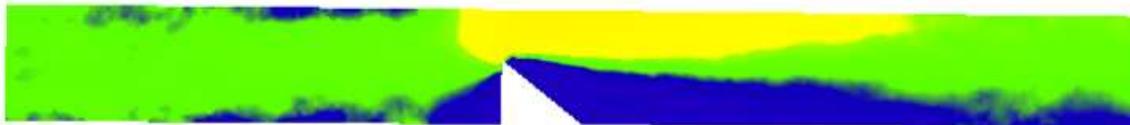


Abbildung 17: Geschwindigkeitsverteilung, Variante "nicht passierbar" (Skala s. Abbildung 15, S. 35)

Durch den steileren Winkel ist die Querschnittsverengung stärker ausgeprägt und die Fließgeschwindigkeit ist höher. Eine weitere Folge sind die stärkeren Verwirbelungen, welche Schwimmversuche erschweren dürften.

Es ist anzunehmen das die Barriere als unpassierbar einzustufen ist. Letztendlich fehlt ein missglückter Schwimmversuch, um dies zu bestätigen.

Generell unterstützen die numerischen Strömungsbilder die interpretierten Aussagen der Videoaufnahmen und damit die Ergebnisse von VAEßEN (2010).

4.2 Weitere Varianten der Krebs Sperre in der numerischen Darstellung

Ausgehend von den Strömungsbildern aus Kapitel 4.1 sind weitere Varianten gem. der in Kapitel 3.1 beschriebenen Vorgehensweise bearbeitet worden. Dabei sind sowohl die Eingangsgeschwindigkeit (0,15 m/s), als auch die äußeren Maße aus den vorangehenden Darstellungen übernommen worden, um einen besseren Vergleich zu erzielen. Bei den folgenden zwei Abbildungen handelt es sich demzufolge jeweils um eine Weiterentwicklung der „passierbaren“ Variante (vgl. Abbildung 16, S. 3636). Die Farbskala und die Interpretation der Farbskala ist Kap. 4.1 Abbildung 15 zu entnehmen. Die Fließrichtung wird von links nach rechts dargestellt.

Abbildung 18 ist eine Erweiterung zu der passierbaren Variante. Die Verengung wird durch eine Schräge eingeleitet und durch eine Gerade verlängert, bis sich schließlich der Querschnitt wieder erweitert.

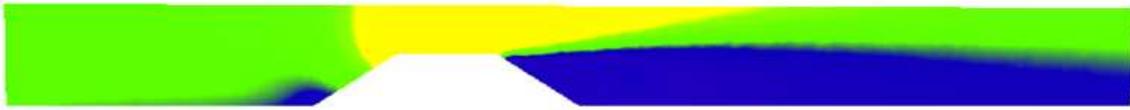


Abbildung 18: Geschwindigkeitsverteilung, Variante A (Skala s. Abbildung 15, S. 35)

Auch hier dürften die Krebse, ähnlich wie in der passierbaren Variante, mit Verwirbelungen auf der Schräge konfrontiert werden. Sollte es ihnen gelingen, die erste Kante zu erreichen, würde die erhöhte Fließgeschwindigkeit unmittelbar auf den Krebs treffen. Gegen diese auf der gesamten Geraden anzukommen, dürfte das Passieren der Barriere weiter erschweren. Lediglich der Aufstrom an der zweiten Kante ist weniger stark ausgeprägt. Dies ist in der Variante B, einer Erweiterung von Variante A, berücksichtigt worden.

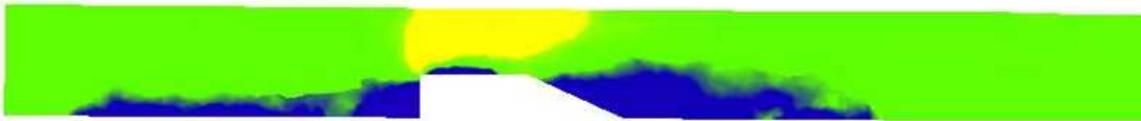


Abbildung 19: Geschwindigkeitsverteilung, Variante B (Skala s. Abbildung 15, S. 35)

Ableitend von den in Abbildung 19 dargestellten Strömungsverhältnissen könnte ein Krebs in der Lage sein, bis zum Ende der Barriere zu gelangen. Der gelbe Bereich nimmt insgesamt eine kleinere Fläche ein, die Fließgeschwindigkeit ist hier also geringer.

Verknüpft man die bisher aus den numerischen Darstellungen erlangten Erkenntnisse mit den in Kapitel 2.6 aufgeführten generellen Anforderungen einer Krebsperre, so lässt sich jene Variante entwickeln, welche in den eigenen Versuchen (Kap. 4.3 – numerische Darstellung, 4.4 – Tierversuch) eingesetzt worden ist.

4.3 Die entwickelte Krebsperre in der numerischen Darstellung

Unter Berücksichtigung der in Kapitel 2.6 genannten Anforderungen an eine Krebsperre und den Ergebnissen aus Kapitel 4.1 und 4.2, resultierte die in

Abbildung 20 zu sehende Krepssperre.

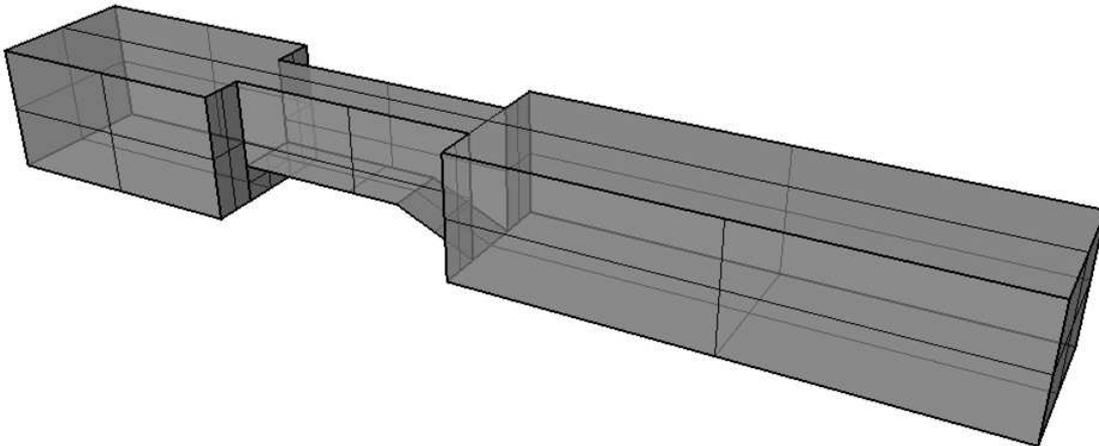


Abbildung 20: entwickelte Krepssperre, 3D in RHINOCEROS

Die Gesamtlänge der Barrierenkonstruktion beträgt 1,00 m. Mit einer maximalen Höhe von 0,15 m und einer leicht ansteigenden Fläche (0,25 m breit, 0,35 m lang) sollte sie kein Hindernis für Groppen darstellen. Hinter der geneigten Fläche folgt ein waagerechter Korridor. Weitere Verengungen der Sperre durch die Seitenwände verkleinern den Querschnitt und führen damit zu einer Erhöhung der Fließgeschwindigkeit in der Sperre. Die dadurch neu erlangte Querschnittsbreite der gesamten Konstruktion beläuft sich somit nur noch auf 0,25 m. Die Oberflächen in der Krepssperre (Seitenwände, Sohle der geneigten Fläche und des Korridors) bestehen aus einem glatten korrosionsbeständigen Material.

Um die Effektivität der entwickelten Krepssperre zu überprüfen, wurde auch die entwickelte Krepssperre numerisch simuliert (s. Abbildung 21). Die Farbgebung der Geschwindigkeitsverteilungen sind der Skala in Kapitel 4.1 Abbildung 15 zu entnehmen.



Abbildung 21: Geschwindigkeitsverteilung, entwickelte Krepssperre (Skala s. Abbildung 15, S. 35)

4.4 Die entwickelte Krepssperre im Versuch mit Signalkrebsen

Nachdem die entwickelte Krepssperre numerisch simuliert worden ist, wurde das Modell nachgebaut und in einem Tierversuch erprobt.

Wie im Kapitel 3.2.4 bereits erläutert, erfolgte ein Versuchsdurchlauf von zwei verschiedenen Abflusswerten und jeweils unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten. Durch den Rückstau des Wassers wurden die Strömungsgeschwindigkeiten reguliert. Da der Wasserstand und die daraus – bei konstanten Abfluss – resultierenden Fließgeschwindigkeiten für die Auswertung von größter Bedeutung sind, werden die Abflüsse (8,7 und 12,4 m³/s) nicht weiter berücksichtigt. Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse der Versuchsreihen. Dabei gibt sie nicht den chronologischen Ablauf wieder, sondern ist absteigend nach den mittleren Fließgeschwindigkeiten in der Verengung (in der Sperre) sortiert. Die einzelnen Abkürzungen dazu erläutert Tabelle 3.

Tabelle 3: Erläuterung der Abkürzungen aus Tabelle 4

Wassertiefe i. d. Fließrinne i. d. Sperre	h_F h_S
Mittlere Fließgeschwindigkeit i. d. Fließrinne i. d. Sperre	$v_{m,F}$ $v_{m,S}$
Fließgeschwindigkeit auf der Sohle der Sperre (sie entspricht der unmittelbar über der Kante zwischen Korridor und geneigte Fläche)	v_S
Fließgeschwindigkeit an der Oberfläche in der Sperre	$V_{OF,S}$

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse, sortiert nach der mittleren Fließgeschwindigkeit in der Verengung (Sperre)

Sperre				Fließrinne		Anmerkung	Versuchsnummer
$v_{m,S}$ [m/s]	v_S [m/s]	$v_{OF,S}$ [m/s]	h_S [cm]	$v_{m,F}$ [m/s]	h_F [cm]		
0,407	0,498	0,519	12,2	0,072	28,8	wirksam	3
0,305	–	–	11,4	0,054	27,0	wirksam	2
0,221	0,068	0,068	22,4	0,055	37,8	wirksam	5
0,208	0,361	0,38	17,2	0,063	32,1	wirksam	4
0,194	–	–	17,9	0,043	33,5	wirksam	1
0,146	0,068	0,068	34,0	0,043	48,1	wirksam, aber ungültig	6

Jedem Versuch ist eine Nummer zugordnet worden, unter der die Versuchsprotokolle im Anhang V zu finden sind.

In allen Versuchen konnte beobachtet werden, dass die Krebse direkt nachdem sie in die Startkammer gesetzt worden sind, auf die Schräge zu steuern und anfangen zu laufen. Dabei gab es keinen Unterschied zwischen Größe, Gewicht, Geschlecht und Körperbau (fehlende Gliedmaßen etc.). Der große Andrang an der Schräge nahm nach ein paar Stunden ab. Danach versuchten nur vereinzelt Krebse die Sperre zu überklettern. Erst in der Nachtphase, in völliger Dunkelheit, konnte bei allen Versuchen wieder ein reges Treiben beobachtet werden. Wenn sich mehrere Exemplare gleichzeitig auf der Schrägen befanden, überkletterten sie sich gegenseitig (das Phänomen der Räuberleiter, s.u.) und gelangten meistens bis zum Ende der Schräge (s. Abbildung 22). Nur wenige Probanden erreichten die erste Kante der Barriere ohne die Hilfe anderer Krebse. Letztendlich schaffte es kein Krebs über die Kante der geneigten Fläche hinaus in den Korridor zu klettern, um von dort aus in die Endkammer mit dem Köder zu kommen.

Das Phänomen der Räuberleiter wurde bereits von VAEßEN (2010) beobachtet und beschrieben. Durch eine größere Ansammlung von Krebsen unmittelbar vor der Sperre kletterten mehrere Tiere übereinander und bildeten unbeabsichtigt eine „Räuberleiter“. Im Gegensatz zu den Versuchen von VAEßEN (2010) gelang es in dieser Versuchsreihe keinem Tier die Barriere mit dieser Strategie zu passieren.



Abbildung 22: mehrere Krebse gleichzeitig auf der geneigten Fläche der Sperre

Während der Versuche wurden die Krebse vereinzelt mit einem Stock aufgeschreckt, um zu überprüfen, ob sie im Falle eines Fluchtversuches über die Sperre schwimmen würden. Die Schwimmbereitschaft der Krebse war im Allgemeinen sehr gering. Nur ein einziger Krebs versuchte die Sperre zu überschwimmen (s.u.). Die Krebse versuchten die Barriere kletternd zu überwinden. Dies geschah sowohl vorwärts, als auch rückwärts, indem sie sich auf der geneigten Fläche mit dem Schwanz gegen die Strömung drehten und versuchten sich mit den Scheren rückwärts hoch zu schieben. Des Weiteren wurde auch beobachtet, wie die zuletzt beschriebene Kletterstrategie als Ausgangsposition für einen Schwimmversuch diene. Dabei bewegte sich das Abdomen¹⁶ des Krebses leicht auf und ab, doch zu einem Schwanzschlag kam es nicht, der Krebs rutschte stattdessen die Sperre wieder herunter. Diese Szene ist auf den Videoaufnahmen, aufgrund der Vogelperspektive leider nicht zu erkennen.

Um die Motivation der Krebse zu erhöhen, ist die Bestandsdichte ab dem 3. Versuch erhöht worden. Die Anzahl der Probanden wurde von 8 auf 15 erhöht und die Fläche der Startkammer ist auf ca. 1,00 m² verkleinert worden.

Als nicht passierbar wurden grundsätzlich alle Versuche eingestuft. Lediglich beim 6. Versuch gelangen es drei Krebse die Sperre „illegal“, also auf einem anderem Weg, zu erklettern. Weil der Wasserstand nur knapp unter der Höhe der Konstruktion lag, konnten sich die Krebse senkrecht an der Barriere über eine Kante hochziehen und von dort aus über den Außenrahmen aus Holz in die Endkammer laufen. Auffällig war, dass dies nur Krebse mit kleinen Scheren und einer geschätzten Größe von ca. 8 cm gelang. Obwohl dieser Versuch (Versuch 6) als ungültig gewertet werden müsste, wird er mit ausgewertet und berücksichtigt. Denn nur in diesem Versuch konnte beobachtet werden, wie ein Krebs ohne äußere Einflüsse, gerichtet über die

¹⁶Abdomen: Hinterleib eines Krebses

Sperre zu schwimmen versucht. Dabei dreht sich der Krebs am Fuß der geneigten Fläche mit dem Schwanz zur Wasseroberfläche, schwimmt auf diese zu und lässt sich über der oberen Kante der Schräge wieder nieder. Von dort aus schafft er es nicht weiter, um den Korridor zu passieren und rutscht über die Sperre wieder herunter in die Startkammer.

Wie der Tabelle 4 zu entnehmen ist, sind die Fließgeschwindigkeiten in Versuch 6 sehr gering eingestellt worden. Dies geschah mit der Erwartung, dass die Krebse die geneigte Fläche passieren und bis in den Korridor gelangen würden. Dadurch hätte man das Verhalten im Korridor beobachten oder einen Hinweis darüber erlangen können, wie weit sie durchgehend schwimmen können, bzw. ob die Länge der Barriere ausreichend groß dimensioniert worden ist. Ohne den vorgesehenen Weg zu verlassen („illegal“), gelang es – wie in den Versuchen davor – keinem Tier die Sperre erfolgreich zu überwinden.

4.5 Die entwickelte Krebs Sperre im Versuch mit Groppen

Der in Kapitel 3.3 beschriebene Zusatzversuch mit Groppen könnte als erfolgreich eingestuft¹⁷ werden. Nachdem die Groppen 24 h in der Rinne waren und keine Neigung zeigten, die Barriere zu überschwimmen, wurden sie gezielt mit einem Netz aufgeschreckt. Diese Methode war notwendig, um die Schwimmbereitschaft zu erhöhen. Innerhalb kürzester Zeit schaffte es eine Groppe problemlos die Sperre zu überwinden (s. Abbildung 23), daraufhin wurde der Versuch abgebrochen. Tabelle 5 führt eine Zusammenfassung der Strömungsparameter auf, dessen Strömung die Groppe überwinden musste und konnte. Es handelte sich dabei um die Strömungsbedingungen aus Versuch 3, in welchem es keinem Signalkrebs gelang, die Sperre zu überwinden.

¹⁷ Erfolgreich eingestuft: Der Groppen-Versuch erwies sich als erfolgreich, jedoch fand nur ein Versuch statt, indem nur ein Tier die Sperre passierte.

Tabelle 5: Zusammenfassung des Groppen-Versuchs, Erläuterungen zu den Abkürzungen sind Tabelle 3 S. 40 zu entnehmen.

Sperre				Fließrinne		Anmerkung	Versuchsnummer
$v_{m,S}$ [m/s]	v_S [m/s]	$v_{OF,S}$ [m/s]	h_S [cm]	$v_{m,F}$ [m/s]	h_F [cm]		
0,407	0,498	0,519	12,2	0,072	28,8	erfolgreich überwunden	7



Abbildung 23: Groppe schwimmt über die Krebs Sperre (Blickrichtung gegen die Fließrichtung)

5. Diskussion/Ausblick

Die entwickelte Krebssperre erwies sich in den Versuchen als wirksam. Sie hielt die Signalkrebse auch bei niedrigen Strömungsbedingungen zurück, die Groppe dagegen waren in der Lage, sie zu überschwimmen. In den folgenden Teilkapiteln wird die Form der Barriere, das Verhalten der Tiere und ein möglicher Einsatz der Krebssperre im Emden Bach diskutiert.

5.1 Vergleich der entwickelten Krebssperre mit den Versuchen von VAEßEN (2010)

Die entwickelte Krebssperre besteht aus einer geneigten und dadurch leicht ansteigenden Fläche, so dass das Hindernis auch für Bodenfische, wie z.B. die Groppe (*Cottus gobio*), passierbar ist, und einem anschließenden waagerechten Korridor, der als Verlängerung der Konstruktion dient. Dieser soll gewährleisten, dass die Krebse gezwungen sind, über eine längere Distanz zu schwimmen. Eine glatte Oberfläche soll ein Überklettern der Barriere verhindern. Die Breite der gesamten Sperre ist im Vergleich zur Breite des Fließrinnenquerschnitts kleiner. Die durch die Verengung erlangte Querschnittsverkleinerung verursacht eine höhere Strömungsgeschwindigkeit unmittelbar in der Sperre. Dies ist auch im Vergleich mit der passierbaren Variante (Abbildung 24, oben) zu sehen. Trotz gleicher Eingangsparemeter (Länge, Breite und Höhe der Fließrinne, Eingangsgeschwindigkeit, Rauheit etc.) kommt es in der entwickelten Krebssperre (Abbildung 24, unten) zu einer höheren Fließgeschwindigkeit in der Sperre. Die darauffolgende plötzliche Querschnittsausweitung (geneigte Fläche, Ende der Verengung) führt zu starken Turbulenzen. Es kommt zu einer Wirbelbildung; die Wirbel ändern die Strömungsrichtung. Die Stärke der Turbulenzen hängt hier im Wesentlichen von der Strömungsgeschwindigkeit und der Querschnittserweiterung ab. Je schneller das Wasser fließt und je plötzlicher und extremer sich der Querschnitt ausweitet, desto stärker bilden sich diese Turbulenzen aus. In der passierbaren Variante finden zwar auch Verwirbelungen statt, sie sind jedoch weniger stark ausgebildet als in der entwickelten Krebssperre. Die Turbulenzen schienen im Tierversuch mit den Signalkrebsen von besonderer Bedeutung zu sein,

denn nur die teilweise sehr geringen Geschwindigkeiten (0,068 m/s auf der Sohle in der Verengung) hätten die Krebse nicht aufhalten sollen. Es stellt sich also die Frage, wie die Flusskrebse Strömungen, bzw. Strömungsrichtungen wahrnehmen, wie sie sich dementsprechend orientieren und ob die Turbulenz der entscheidende Faktor ist, um gebietsfremde Flusskrebse an einer flussaufwärts gerichteten Wanderung zu hindern.

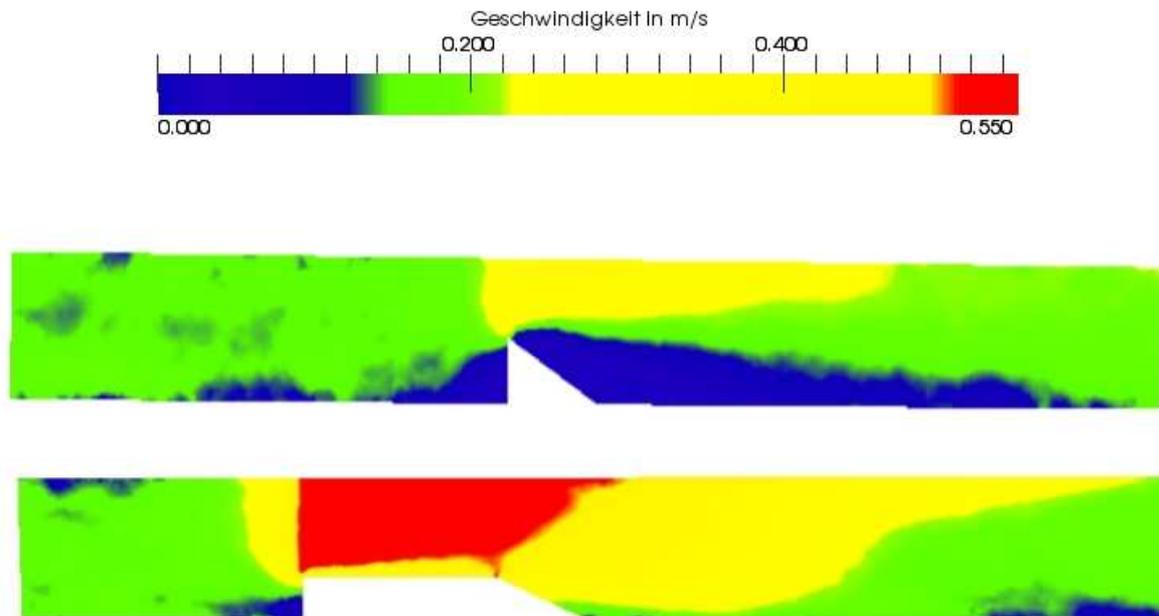


Abbildung 24: Geschwindigkeitsverteilungen oben: passierbare Variante (vgl. Kap. 4.1), unten: entwickelte Krebs Sperre (vgl. Kap. 4.3)

5.2 Verhalten der Signalkrebse

Die Aktivität der Signalkrebse war während der gesamten Versuchszeit sehr hoch, aber ihre Schwimmbereitschaft kann als niedrig eingestuft werden. Insbesondere unmittelbar nach dem Versuchsbeginn und in der Nachtphase bei völliger Dunkelheit fand ein reges Treiben an und auf der geneigten Fläche der Sperre statt. Beinahe konsequent versuchten die Signalkrebse die Sperre krabbelnd zu überwinden. Doch das Material der Sperreroberfläche erwies sich als zu glatt für die Schreitbeine der Krebse. Sie konnten nur wenig, teilweise sogar gar keinen Halt darauf finden. Gelangten die Tiere dennoch bis zum Ende der geneigten Fläche - meist durch ein gegenseitiges hochschieben und überklettern - kamen die Signalkrebse nicht weiter, denn plötzlich trafen sie auf die eigentliche Strömungsrichtung und -stärke.

In der ganzen Versuchsreihe fand nur ein Schwimmversuch statt (Versuch 6). Wie bereits in Kapitel 4.4 beschrieben, beförderte sich der Krebs mit ein paar kräftigen Schlägen seines Schwanzfächers bis unter die Wasseroberfläche, schwamm von dort aus bis zum Ende der geneigten Fläche und lies sich auf der Kante zwischen geneigter Fläche und Korridor nieder. In dieser Position verharrte er, bis der Krebs wieder zurück in die Startkammer lief. Es ist zu klären, warum der Krebs nicht einfach weiter geschwommen ist und aus welchen Grund er sich gegen weitere Kletterversuche entschied. Weiterhin stellt sich die Frage, wie Flusskrebse ihre Umwelt registrieren bzw. wie sie die Strömungen wahrnehmen. Die Fließgeschwindigkeit auf der Sohle im Korridor betrug nur 0,068 m/s (mittlere Fließgeschwindigkeit im Korridor: 0,146 m/s). Diese geringe Strömung dürfte in der Regel kein Hindernis darstellen, schließlich konnte beobachtet werden, wie Signalkrebse gegen Strömungen von bis zu 0,437 m/s anschwimmen konnten (vgl. Kap. 2.5.1, bzw. VAEßEN 2010: 72).

5.3 Verhalten der Groppen

Die Schwimmbereitschaft der Groppen war, wie zu erwarten, äußerst gering. Gem. BLESS (1990), verlässt diese Fischart nur für Aktivitäten wie die zur Nahrungsaufnahme ihren Ruheplatz (vgl. BLESS 1990: 582). Aus diesem Grund wurden die Groppen mit einem kleinen Fischernetz aufgeschreckt. Innerhalb kürzester Zeit überquerte ein Fisch die Barriere. Eine mittlere Fließgeschwindigkeit von ca. 0,50 m/s war problemlos zu passieren. Die Turbulenzen auf der geneigten Fläche schienen keine Auswirkungen auf die Groppen zu haben.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur ein Versuch mit Groppen stattfand, indem die Groppen zudem aufgeschreckt worden sind, damit sie die Sperre passieren. Um zu überprüfen, ob Groppen die Barriere mit dem Höhenunterschied und den Strömungen überhaupt passieren können, war der Versuch ausreichend. Jedoch muss noch überprüft werden, wie die Groppen die Sperre in der freien Natur, ohne äußere Reize, annehmen würden.

Der Versuch in Kapitel 3.3 fand mit ausgewachsenen Exemplaren (Länge ca. 11-13 cm) statt. Nach BLESS (1990) ist die flussaufwärts gerichtete Wanderung abhängig vom Alter (bzw. der Größe) der Groppe. Insbesondere die Tiere mit einer Länge von

5 bis 10 cm kompensieren die Driftverluste aus dem juvenilen¹⁸ Alter durch Wanderungen gegen die Strömungen (BLESS 1990: 583ff). Dementsprechend gilt es zu überprüfen, ob kleinere Individuen ebenfalls in der Lage sind, die Sperre zu überwinden.

In den Versuchen stellte sich heraus, dass sich die Groppe eher auf ihre Tarnung verlässt, als zu flüchten. Erst wenn das Fischernetz sie beinahe berührte, schwamm die Groppe davon. Die Oberfläche der Barriere dunkel, bzw. dem Gewässerbett ähnlich zu färben, könnte eine Möglichkeit darstellen, dass die Krebsbarriere besser von den Groppen angenommen wird.

5.4 Erweiterungen der Sperre und Monitoring

Die in den Versuchsreihen verwendete Krebs Sperre kann nicht ohne weiteres in der Praxis eingesetzt werden: Der Holzrahmen muss für einen naturnahen Einsatz z.B. durch Beton ersetzt werden. Die Aluminiumflächen sollten Edelstahl o.ä. korrosionsbeständiges Material weichen. Die im Versuch zusammengeklebten Metallplatten müssten außerdem z.B. sauber zusammengeschweißt werden.

Die Barriere ist in ihrer Konstruktion absichtlich einfach gehalten. Sollte sich herausstellen, dass die gebietsfremden Flusskrebse in der Lage sind eine größere Distanz als 1 m zu schwimmen, kann der Korridor ohne großen Aufwand verlängert werden. Geregelt Wartungen sind jedoch notwendig. Die Krebse, die sich vor der Sperre ansammeln, müssen regelmäßig abgefischt werden. Es ist sicherlich sinnvoll, während der Flusskrebssaison zusätzliche Reusen weiter flussabwärts der Krebs Sperre einzusetzen. Krebsreusen sollten auch oberhalb der Sperre zum Einsatz kommen, damit die Funktionsfähigkeit der Sperre regelmäßig kontrolliert werden kann.

Die Sperre muss permanent von Algenbewuchs (er erhöht die Rauheit der Sperreroberfläche) und Geschwemmsel (Äste etc.) befreit werden. Geschwemmsel kann die Sperre nicht nur beschädigen oder komplett verstopfen, sondern auch dazu führen, dass die Sperre innerhalb kürzester Zeit für gebietsfremde Flusskrebse passierbar wird. Daher muss weiter stromaufwärts jegliches Treibgut abgefangen werden. Zu diesem Zweck kann z.B. eine Rechenkonstruktion aus Holz errichtet

¹⁸ juvenil: jung

werden, die über den Gewässerquerschnitt verteilt in die Sohle eingelassen werden (vgl. Abbildung 25). Bei einem Einsatz der Sperre im Auslauf einer Fischtreppe, befindet sich zumeist ein Rechen unmittelbar vor der Fischtreppe, der Geschwemmsel auffängt.



Abbildung 25: einfache Rechenkonstruktion aus Holz zum Zurückhalten von Geschwemmsel an einem namenlosen Nebengewässer des Heubachs (Quelle: BIOPLAN 2010)

Des Weiteren muss der Feststofftransport im Fließgewässer berücksichtigt werden. Schwebstoffe und Geschiebe können auf Dauer die Sperrenoberfläche aufrauen und damit den Aufstieg der invasiven Flusskrebse erleichtern. Um einen Aufstau und infolgedessen Ablagerungen von Sohlen- bzw. Ufersubstrat zu vermeiden, sollten sich die Strömungsverhältnisse im Oberwasser möglichst nicht verändern. Bei einem Einsatz in einer Fischtreppe ist diese Problematik nicht zu beachten, da das Geschiebeverhalten dadurch nicht mehr dem natürlichen entspricht.

Flusskrebse sind gute Kletterer und können auch über Land wandern (GROSS et al. 2008: 55). Dies trifft vor allem auf den Roten Amerikanischen Sumpfkrebs zu. Wenn in Gebieten, in denen dieser Flusskrebs vorkommt, am Gewässer keine terrestrischen Barrieren – wie z.B. Brückenbauwerke von viel befahrenen Straßen – vorhanden sind, müssen zusätzliche Barrieren installiert werden, die die Ausbreitung über Land verhindern. Zu diesem Zweck können z.B. Amphibienleitsysteme, wie Amphibienzäune, aufgestellt werden.

5.5 Die Kriebssperre im Emdcr Bach als Praxisbeispiel

Im Unterlauf des Emdcr Bachs (Kap. 2.4 und 2.4.1) existieren zwei Querbauwerke (Q1 und Q2, vgl. Karte im Anhang V), in denen die Kriebssperre eingesetzt werden könnte. Sie befinden sich beide kurz vor der Mündung in den Grundbach, südlich von Holzhausen zwischen der B252 und der Straße nach Albrock. In diesem Abschnitt ist das Gelände für Einbau und Wartungsarbeiten aufgrund der guten Verkehrsanbindung leicht zugänglich. Bezüglich des Einbaus wird es als sinnvoll und kosteneffektiv angesehen, dies mit den im aktuell erstellten Gewässerkonzept (BIOPLAN 2011) vorgesehenen Renaturierungsmaßnahmen zu verknüpfen, vorausgesetzt die Kriebssperre konnte in weiteren Versuchen langfristig als effektiv eingestuft werden.

Bei Q1 handelt es sich um eine fünfstufige Kaskade (s. Abbildung 26) mit einer ca. 0,4 m hohen Seitenwand. Da der zu überbrückende Höhenunterschied von knapp 1 m jedoch zu groß ist, um die Barriere an sich einzusetzen, wäre der Einbau nur in Kombination mit anderen Einbauten, z.B. einer rauen Rampe umsetzbar.



Abbildung 26: Q1: Fünfstufige Kaskade am Emdcr Bach

Ein paar Meter stromabwärts, unter der Überführung der B252, passiert der Bach ein

betoniertes Kastenprofil (Q2, s. Abbildung 27). Würde die Krebs Sperre an dieser Stelle zum Einsatz kommen, hätten auch über Land kletternde Flusskrebse so gut wie keine Möglichkeit des Passierens: Einerseits, weil sie das Brückenbauwerk komplett umgehen müssten und dabei das Gefälle sowie die Distanz ein großes Hindernis darstellen würden. Andererseits müssten sie erfolgreich die stark befahrene B252 überqueren. Q2 hat gegenüber Q1 den Vorteil, dass bereits eine Verengung vorhanden ist. Über einer Strecke von ca. 5 m verengt sich der Gewässerquerschnitt von 3,00 m auf 0,85 m. Allerdings reicht auch hier der einfache Einbau der Krebs Sperre nicht aus. Die Unterführung wird zusätzlich als Wanderweg genutzt. Wie die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zeigen, ist es ein Leichtes für die Krebse, sich bei einem bordvollen Abfluss über die Kante zu ziehen (vgl. Kap. 4.4). Von dort aus können sie ungehindert entlang des Wanderweges die Sperre umgehen. Um dies zu verhindern, könnte man z.B. die Seitenwände des Kastenprofils umgestalten.

Die Abbildung 28 zeigt den Querschnitt der beschriebenen Fließgewässerabschnitte und die vorgeschlagene Krebsbarriere in der Unterführung der B252.



Abbildung 27: Q2: Unterführung des Emdersbachs unter der B252, Blick Richtung Mündung

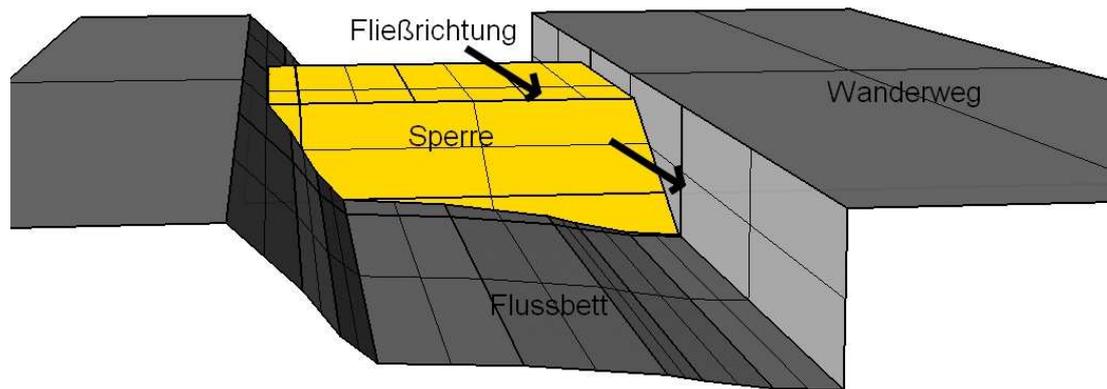


Abbildung 28: Skizze Flussquerschnitt mit eingebauter Sperre

In der Regel ist die Breite der Verengung der Krebs Sperre abhängig vom Fließgewässer und seinen Abflussverhalten (Strömungsgeschwindigkeit, Abfluss etc.) zu wählen. Bei einem Niedrigwasserabfluss muss die Fließgeschwindigkeit noch stets ein unüberwindbares Hindernis darstellen. Als Anhaltspunkt zur groben Einschätzung wird der Niedrigwasserabfluss für den Emdor Bach auf ca. 48 l/s (s. Anhang III) festgelegt. Durch die bei Q2 bereits vorhandene Querschnittseinengung beläuft sich die Gewässerbreite auf 0,85 m. Die Fließgeschwindigkeit ergibt sich abhängig von dem Wasserstand. Ausgehend von dem für die Sperre geringsten Wasserstand (ca. 0,25 m)¹⁹, resultiert eine Strömungsgeschwindigkeit von 0,22 m/s. Die bereits durch das Brückenbauwerk vorhandene Gewässerverengung erscheint als ausreichend, um die benötigte Strömungsgeschwindigkeit zu erzielen. Jedoch ist die Tiefe des Querschnitts mit nur 0,26 m, ohne weitere Maßnahmen nicht ausreichend. Dies ist ein weiteres Argument für die Umgestaltung der Seitenwände (s.o.).

Allerdings führte der Emdor Bach zum Zeitpunkt der Begehung kein Wasser. Obwohl es in den Wochen vorher oft Niederschlag gab, lag das Gewässerbett trocken. Für die Auswahl des Standortes der Krebs Sperre, sollte zunächst das Abflussgeschehen des Emdor Bachs genau untersucht werden. Denn es liegen noch keine Kenntnisse vor, ob die Barriere im trockenen Zustand, bzw. bei einem sehr geringen Abfluss überklettert werden kann. Aufgrund der Kletterfähigkeiten der Flusskrebse ist dies allerdings zu erwarten. Liegt der Emdor Bach regelmäßig in den Sommermonaten

¹⁹ Der Wasserstand ist ein angenommener Wert. In dem Fall ist er nach der Funktionsfähigkeit der Sperre und der Leistung der Groppe gewählt worden (Höhe der Sperre: 0,15 m + präferierte Mächtigkeit der Wassersäule über der Sperre: < 0,10 m).

trocken, sollte die Krepssperre demnach weiter stromabwärts, z.B. im Oberlauf der Brucht eingesetzt werden. Bei diesem Gewässerabschnitt ist davon auszugehen, dass er ganzjährig Wasser führt. Durch diese Maßnahme bekommen Edelkrebse nicht nur einen größeren Lebensraum, das potentielle Verbreitungsgebiet des Signalkrebses wird verkleinert. Des Weiteren gibt es eine zusätzliche Pufferzone, falls es doch einem Individuum gelingt die Sperre zu passieren. Eine regelmäßige Überprüfung durch den Einsatz von Reusen oberhalb der Krepssperre ist notwendig. In Bezug auf die Eignung dieses Standortes sind jedoch der Grundbach und die Brucht gründlich auf Vorkommen gebietsfremder Flusskrebse zu überprüfen.

Fazit

Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass der Einbau einer Krepssperre wichtig und unumgänglich ist, um die heimische Flusskrebssfauna in NRW, insbesondere den Edelkrebss im Emders Bach (Kreis Höxter) zu schützen, die Verbreitung gebietsfremder Flusskrebse einzudämmen und gleichzeitig einen Fischwechsel zu gewährleisten. Die numerischen Strömungssimulationen ließen einen Einblick in die räumliche Strömungsverteilung zu, die eine wesentliche Rolle spielt bei der Überwindbarkeit der Krepssperre.

Bevor es zu einem dauerhaften Einsatz kommen kann, muss die Krepssperre in der Praxis geprüft werden und sich als langfristig wirkungsvoll erweisen. Der Einsatzort muss mit Bedacht ausgewählt werden, damit es nicht zu einer potentiellen Gefährdung des Edelkrebsses kommt.

Literatur- und Quellenverzeichnis

BEINLICH, B. (2009): Der Edelkrebs (*Astacus astacus*) im Kreis Höxter. – Beiträge zur Naturkunde zwischen Egge und Weser, Heft 21, S. 53-58.

BIOPLAN (2011): Konzept zur naturnahen Entwicklung von Fließgewässern (KNEF) für den Gewässerkomplex Grundbach und Emdor Bach

BLESS, R. (1990): Die Bedeutung von gewässerbaulichen Hindernissen im Raum-Zeit-System der Groppe (*Cottus gobio* L.) – Natur und Landschaft, 65 Jg., Heft 12, S. 581– 585.

BNATSCHG (2002): Gesetz über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz) in der Fassung der Bekanntmachung vom 25. März 2002, BGBl. I S. 1193, zuletzt geändert durch Art. 3 G zur Neufassung des ROG und zur Änderung anderer Vorschriften vom 22.12.2008, BGBl. I.

BVET (Bundesamt für Veterinärwesen): Krebspest
URL:

http://www.bvet.admin.ch/gesundheit_tiere/01065/01110/01128/index.html?lang=de&print_style=yes [24.03.2011].

BFN (Bundesamt für Naturschutz) (Hrsg.) (2008): Daten zur Natur.

BURK, C. (2004): Artenschutzprojekt Edelkrebs. In: Michel, F., Dienstbier, L., Tilly, M., Beinlich, B. (2010/2011): Untersuchungen zu Flusskrebsvorkommen im Kreis Höxter. – Beiträge zur Naturkunde zwischen Egge und Weser, Heft 22, S. 19 – 26.

DIN 4047, TEIL 5 (1989): Landwirtschaftlicher Wasserbau; Begriffe; Ausbau und Unterhaltung von Gewässern. – DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth, Berlin.

EBENHARD, T. (1988): Introduced birds and mammals and their ecological effects. Swedish Wildlife Research. In: Boye, P. (2003): Neozoen. In: Kowarik, I. (2003) (ed.) Biologische Invasionen – Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart, S. 264-282.

EDELKREBSPROJEKT NRW (Hrsg.): Flusskrebsverbreitung,
URL: www.Edelkrebsprojektnrw.de [21.03.2011].

FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT WESER (Hrsg.) (2009): Gesamtstrategie Wanderfische in der Flussgebietseinheit Weser, Hildesheim.

GROB, H., C. BURK UND A. HILL (2008): Die Flusskrebsfauna in NRW. – Natur in NRW, Heft 4, S. 52-56.

GROB, H. (2003): Lineare Durchgängigkeit von Fließgewässern – ein Risiko für Reliktorkommen des Edelkrebses (*Astacus astacus* F.)? – Natur und Landschaft 78 (1) S. 33-35.

KAESTNER, A. (1993, 4. Auflage): Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Bd. I Teil 4: Arthropoda (ohne Insecta), Gustav Fischer Verlag, Jena.

KOLF, R. (2006): Strategische Konzepte für die Wiederherstellung der Durchgängigkeit gem. EG-WRRL. In: Internationales DWA-Symposium zur Wasserwirtschaft, DWA (2006), S. 151-154.

LANUV NRW (Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW) (Hrsg.) (Stand Juni 2010): Rote Liste und Artenverzeichnis der Flusskrebse – Astacidae et Cambaridae – in Nordrhein-Westfalen.

LFU (Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg) (Hrsg.) (2005): Durchgängigkeit für Tiere in Fließgewässern, Leitfaden Teil 1 – Grundlagen.

LANDESBÜRO DER NATURSCHUTZVERBÄNDE (Hrsg.) (2006): Handbuch Verbandsbeteiligung Nordrhein-Westfalen: Handbuch Wasserrahmenrichtlinie Nordrhein-Westfalen, Teil 9.

LUKHAUP, C. (2003): Süßwasserkrebse aus aller Welt. Dähne Verlag.

MAIWALD, T. (2007): Verdrängung autochthoner Flusskrebsarten durch invasive gebietsfremde Flusskrebsarten in Mitteleuropa. – Treffpunkt Biologische Vielfalt VII. Bundesamt für Naturschutz, S. 119 – 125.

MICHEL, F., L. DIENSBIER, M. TILLY & B. BEINLICH (2011): Untersuchungen zu Flusskrebsvorkommen im Kreis Höxter. In: Beiträge zur Naturkunde zwischen Egge und Weser, Band 22. S. 19-26

MUNLV NRW (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2005): Handbuch Querbauwerke, Düsseldorf.

MUNLV NRW (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2007): Geschützte Arten in Nordrhein-Westfalen – Vorkommen, Erhaltungszustand, Gefährdungen, Maßnahmen, Düsseldorf.

MUNLV NRW (Ministerium für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen) (Hrsg.) (2010): Richtlinie für die Entwicklung naturnaher Fließgewässer in Nordrhein – Westfalen – Ausbau und Unterhaltung (Blaue Richtlinie), Düsseldorf.

NENTWIG, W. (2010): Invasive Arten, Haupt Verlag.

RICHTLINIE 92/43/EWG des Rates vom 21. Mai 1992 zur Erhaltung der natürlichen Lebensräume sowie der wildlebenden Tiere und Pflanzen (Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie – FFH-RL).

RICHTLINIE 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik (EG-Wasserrahmenrichtlinie – EG-WRRL).

SCHNEIDER, K.-J. (2008, 18. Auflage): Bautabellen für Ingenieure, Werner-Verlag, Düsseldorf.

SCHULZ, H., GROSS, H., DÜMPELMANN, C., SCHULZ, R. (2009): Flusskrebse Deutschlands. In: Füreder, L. (ed.) Flusskrebse – Biologie – Ökologie – Gefährdung. Folio Verlag, Wien, Bozen, S. 71-82.

TROSCHEL, H. J. & R. BERG (1989): Ein Nachweis des Dohlenkrebses (*Austropotamobius pallipes*) LEREBoullet (1858) in Baden-Württemberg. In: Naturschutz Landschaftspflege Bad.-Württ., 64/65, S. 283–288.

VISCHER, D., HUBER, A (2007, 6. Auflage): Wasserbau: Hydrologische Grundlagen, Elemente des Wasserbaus, Nutz- und Schutzbauten an Binnengewässern, Springer, Berlin.

VORDERMEIER, T. (1999): Untersuchungen zur Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische. - Bayrisches Landesamt für Wasserwirtschaft (Hrsg.), Materialien Nr. 79.

WASSERNETZ NRW (Hrsg.) (2006): Handbuch Wasserrahmenrichtlinie und Naturschutz – Für Aktive in Nordrhein-Westfalen. Kapitel 9: Informationen und Hintergründe. Düsseldorf.

Anhang

Anhang I

Übersicht aller in Nord-Rhein Westfalen vorkommenden Flusskrebarten

Edelkrebse (*Astacus astacus*)



Abbildung 1: *Astacus astacus* (Quelle: LUKHAUPT 2003: 88)

Herkunft:	Europa
Krebspest:	tödlich
Schutzstatus:	
BNatSchG:	streng geschützt
FFH-RL:	Anhang V
RL:	vom Aussterben bedroht

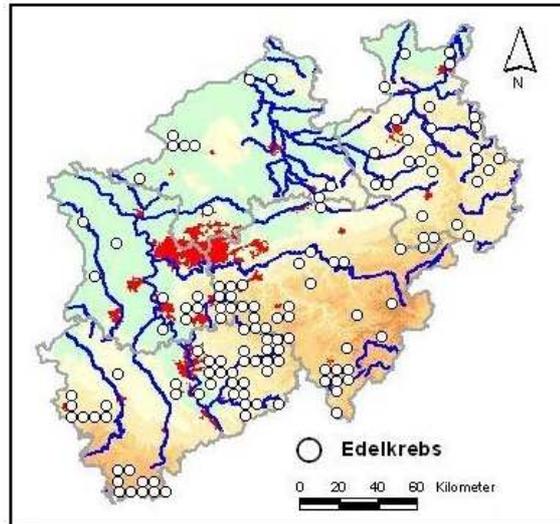


Abbildung 2: Verbreitung des Edelkrebse in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebsprojektNRW.de)

Steinkrebs (*Austropotamobius torrentium*)



Abbildung 3: *Austropotamobius torrentium* (Quelle: LUKHAUPT 2003: 90)

Herkunft:	Europa
Krebspest:	tödlich
Schutzstatus:	
BNatSchG:	streng geschützt
FFH-RL:	Anhang V
RL:	vom Aussterben bedroht

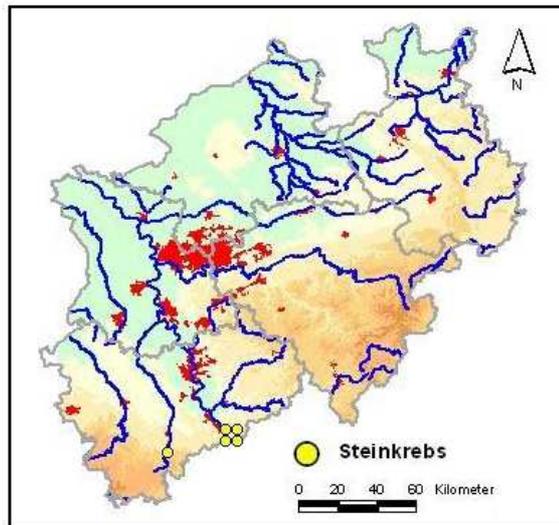


Abbildung 4: Verbreitung des Steinkrebs in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebsprojektNRW.de)

Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*)



Abbildung 5: *Pacifastacus leniusculus* (Quelle: LUKHAUPT 2003: 187)

Herkunft:	Nordamerika
Krebspest:	Überträger, überwiegend resistent
Schutzstatus:	Keinen, ist ein Neozoon

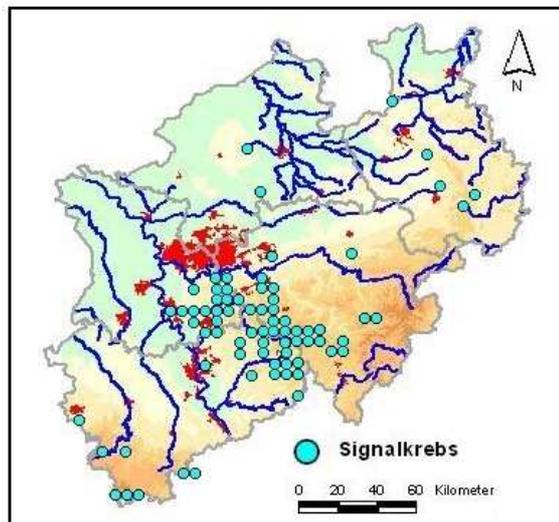


Abbildung 6: Verbreitung des Signalkrebses in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebsprojektNRW.de)

Rote Amerikanische Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*)



Abbildung 7: *Procambarus clarkii*
(Quelle: LUKHAUPT 2003: 197)

Herkunft:	Nordamerika
Krebspest:	Überträger, überwiegend resistent
Schutzstatus:	Keinen, ist ein Neozoon

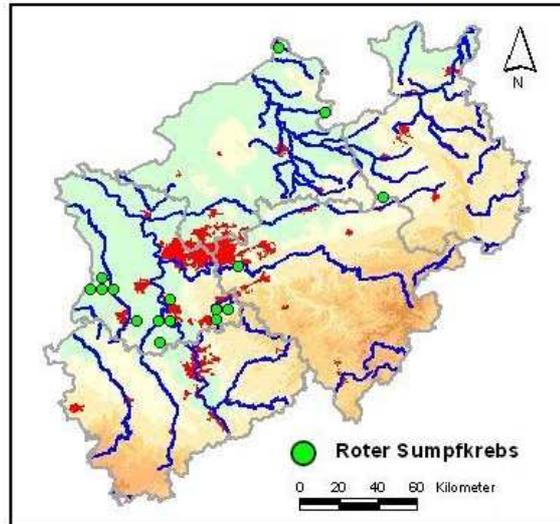


Abbildung 8: Verbreitung des Roten Amerikanischen Sumpfkrebse in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebprojektNRW.de)

Kamberkrebs (*Orconectes limosus*)



Abbildung 9: *Orconectes limosus*
(Quelle: LUKHAUPT 2003: 168)

Herkunft:	Nordamerika
Krebspest:	Überträger, überwiegend resistent
Schutzstatus:	Keinen, ist ein Neozoon

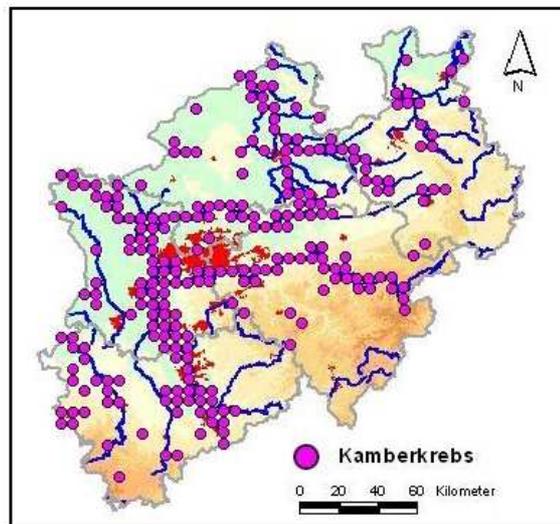


Abbildung 10: Verbreitung des Kamberkreb in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebprojektNRW.de)

Galizischer Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*)



Abbildung 11: *Astacus leptodactylus*, die blaue Farbvariante (Quelle: LUKHAUPT 2003: 89)

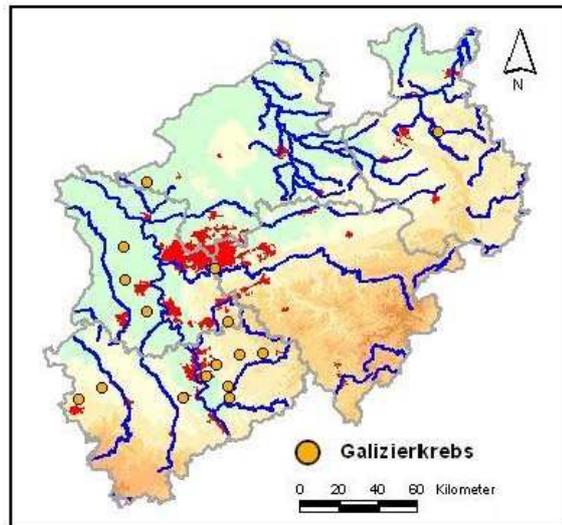
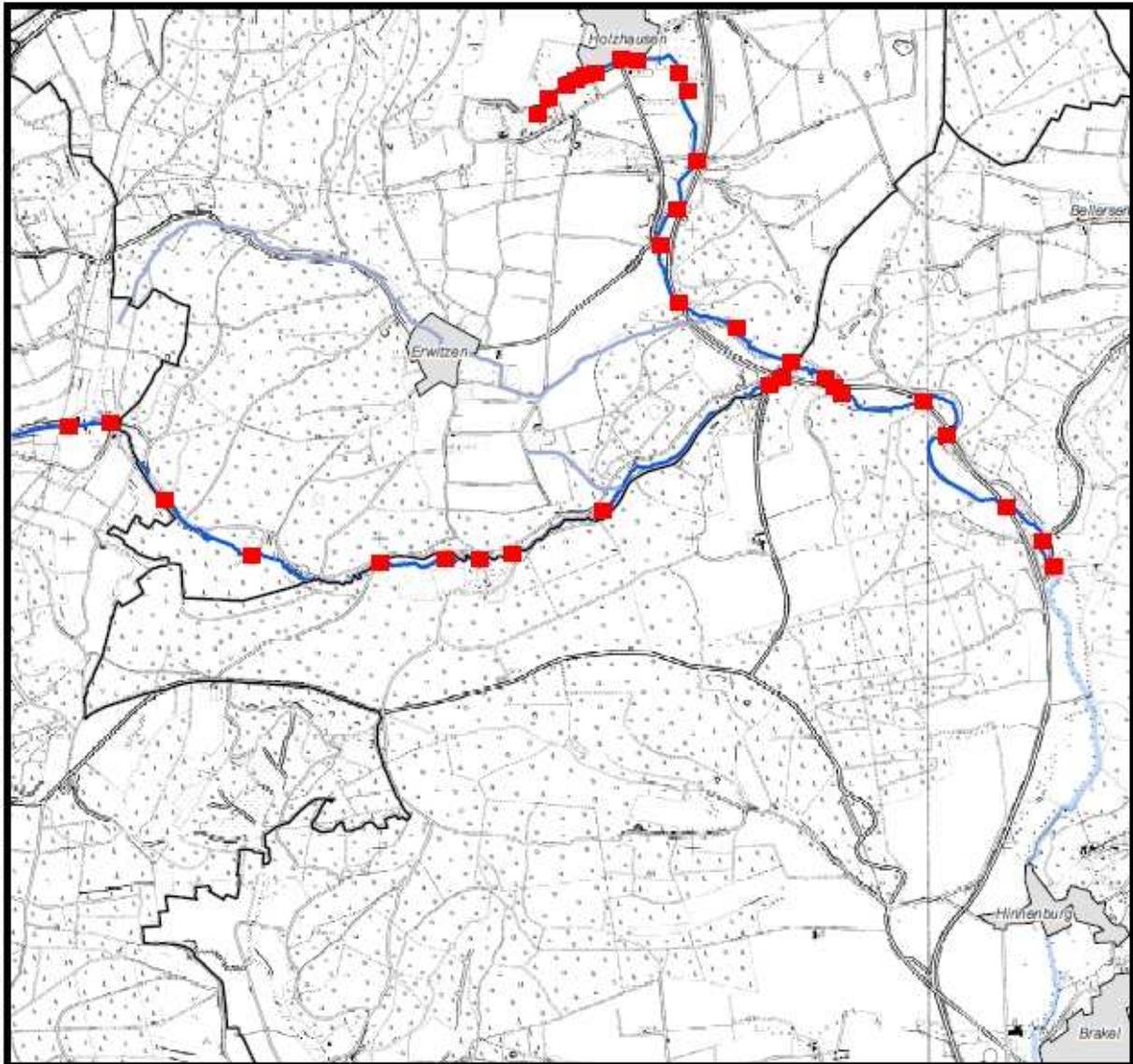


Abbildung 12: Verbreitung des Galizischen Sumpfkrebis in NRW (Quelle, verändert: www.edelkrebisprojektNRW.de)

Herkunft:	Osteuropa
Krebspest:	tödlich
Schutzstatus:	Keinen, ist ein Neozoon

Anhang II

Übersichtskarte des Gewässerkomplexes Grund- und Emden Bach, inkl. Querbauwerke



Legende

- Querbauwerke
- Emden Bach
- Mühlenbach
- Brucht
- Namenloser Zulauf
- Ortschaften



Anhang III

Daten zum Emder Bach

Quelle

Mündung

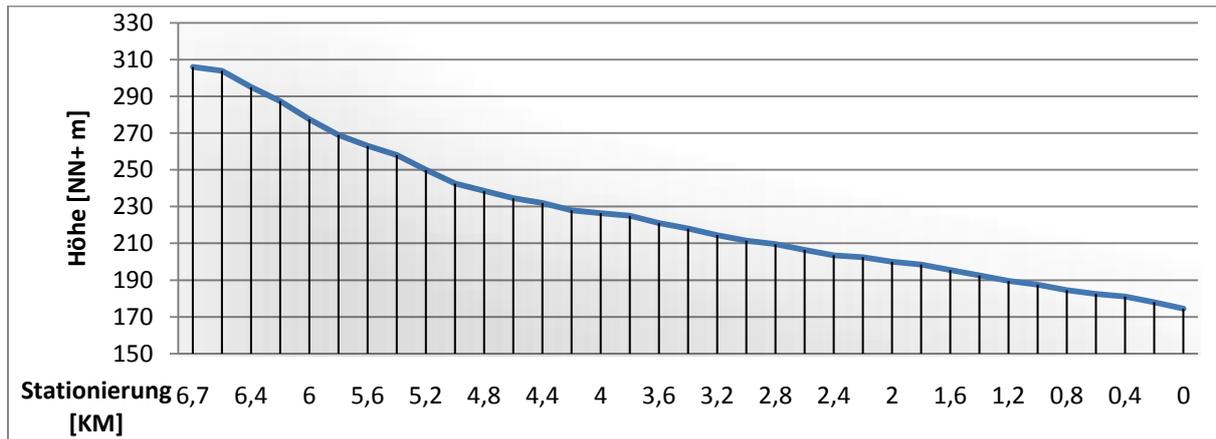


Abbildung 13: Hydrographischer Längsschnitt des Emder Bachs (aus BIOPLAN: 30)

Tabelle 1: Gebietsniederschläge für den Emder Bach (aus BIOPLAN: 31, Bezugszeitraum: 1980-2004)

	452821 - Emder-Bach
Jahresmittelwert	980,3 mm
Januar	103,1 mm
Februar	72,3 mm
März	86,9 mm
April	61 mm
Mai	61,5 mm
Juni	79,3 mm
Juli	83,6 mm

August	77,4 mm
September	81,7 mm
Oktober	78,1 mm
November	88,2 mm
Dezember	107,1 mm

Mittel- und Niedrigwasserabfluss, Berechnungen nach Uhden:

(gegebene Werte stammen aus dem Hydrologischen Atlas von Deutschland 2000)

$$Mq = (1,167 * h_N - h_V) / 31,5$$

Mit h_N = mittlere Jahresniederschlagshöhe in mm

h_V = mittlere jährliche Verdunstungshöhe in mm

Mq = mittlere Abflussspende der Feuchtjahre in l/s*km²

Nq = mittlere Niedrigwasserspende in l/s*km²

MQ = Mittelwasserabfluss in l/s

NQ = Niedrigwasserabfluss in l/s

Für den Emdener Bach ergibt sich:

$$Mq = 1,167 * 1100 - 550 / 31,5 = 23,29 \text{ l/s*km}^2$$

$$Nq = 0,25 * Mq \text{ (für Hügel- und Bergland)}$$

$$Nq = 0,25 * 23,29 = 5,82 \text{ l/s*km}^2$$

Mit der Größe des Einzugsgebietes von 8,2km² ergibt sich:

$$MQ = 23,29 * 8,2 = 190,98 \text{ l/s}$$

$$NQ = 5,82 * 8,2 = 47,72 \text{ l/s}$$

Anhang IV

Versuchsprotokolle von VAEßEN, 2010

Edelkrebsprojekt NRW

Versuchs-ID	9	Bearbeiter/innen: Frings, Vaeßen
Abfluss (l/s)	~56 (Anzeige)	<i>Besonderheiten (z.B. O2/pH-Werte)</i>
Wassertiefe		22.7.10, 12.45h: Rinnentemperatur wieder auf 27,5°C – scheinbar ohne Einfluss auf Tiere (Eingewöhnung). 22.7.10, 15.15h: O2-Messung mit frisch kalibriertem WTW
Unterstrom (cm)	36,2	
Wehr (°)	33,2	Oxi196: 96% Sättigung (Rinne). 23.7.10: Temperaturmessungen: 8.35h 28.9°C,
Rinneneigung (%)	0	11.20h 28.8°C, 15.30h 28.2°C (letzte Messung mit unserem Thermometer).

Sperrre 1				Sperrre 2			
Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)		21.7.10, 16.12h		Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)		21.7.10, 16.12h	
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)		23.7.10, 16.12h		Versuchsende (Datum, Uhrzeit)		22.7.10, 15.40h	
Köder (Art, Menge)		Frolic, 6 Ringe		Köder (Art, Menge)		Frolic, 6 Ringe	
Biologische Werte				Biologische Werte			
TierID	Geschlecht	Länge (cm)	Gewicht (g)	TierID	Geschlecht	Länge (cm)	Gewicht (g)
siehe Versuch 7				siehe Versuch 7			
Letzte Fütterung (Datum, Uhrzeit, Sorte)				Letzte Fütterung (Datum, Uhrzeit, Sorte)			
Besonderheiten				Besonderheiten			
Abiotische Werte				Abiotische Werte			
Neigungswinkel (°)		32,4		Neigungswinkel (°)		24,3	
Höhe der Kante (cm)		20,25		Höhe der Kante (cm)		16,37	
Wasserstand Sperre (cm)		39,95		Wasserstand Sperre (cm)		38,2	
Geschwindigkeit Sperre (m/s)		253,7U/30s=0,502		Geschwindigkeit Sperre (m/s)		217,7U/30s=0,437m/s	
Temperatur Hälterbecken (° C)		*		Temperatur Hälterbecken (° C)		*	
Temperatur (° C)		19,8		Temperatur (° C)		19,8	
Besonderheiten				Besonderheiten			
* irrelevant, da Tiere im Eimer verblieben				* irrelevant, da Tiere im Eimer verblieben			
Geschwindigkeit mit IR-Strahlern: 253,0U/30s.				Geschwindigkeit mit IR-Strahlern: 219,3U/30s.			
Ergebnis				Ergebnis			
Sperre nicht überwunden.				Sperre um 15.40h von einem Krebs durch Rückwärtsschwimmen überwunden.			

Anhang V

Versuchsprotokolle

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer 1

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	24.06.11, 14:49h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	26.06.11, 14:49h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 6 Ringe
Abfluss [l/s]	8,7

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	33,5	17,9
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,043	0,194
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	-

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
13	m	119,73	15	
14	m	102,64	12	
15	w	51,42	11	
16	m	89,69	12	
17	w	41,9	11	
18	m	37,65	9	linke Schere fehlt
19	w	12,46	8	
20	m	98,31	12	

Anmerkungen	
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer **2**

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	26.06.11, 20:23h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	28.06.11, 20:23h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 6 Ringe
Abfluss [l/s]	8,7

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	27	11,4
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,054	0,305
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	-
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	-

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
21	m	66,21	11	
22	m	64,67	10	
23	w	49,32	11	
24	w	75,96	13	
25	m	52,41	11	rechte Schere fehlt
26	m	54,43	11	
27	m	45,47	10	
28	w	59,75	12	linke Schere fehlt, rechte Schere verkümmert, linker Fühler fehlt

Anmerkungen	
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer	3
----------------	---

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	01.07.11, 14:36h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	03.07.11, 14:36h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 8 Ringe
Abfluss [l/s]	12,4

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	28,8	12,2
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,072	0,407
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,498
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,519

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
30	w	24,42	9	
31	m	52,74	11	
32	w	24,91	10	
33	m	45,12	11	
34	w	26,3	8	
35	m	38,49	11	
36	w	51,23	12	
37	w	30,16	10	rechte Schere fehlt
38	w	28,76	9	
39	m	54,67	12	
40	m	32,44	9	
41	m	9,59	6	
42	w	25,13	8	
43	w	49,59	12	
44	m	25,51	10	

Anmerkungen	Ab dieser Messreihe verändern sich folgende Faktoren: Fläche der Startkammer auf ca. 1m ² verkürzt und Anzahl der Tiere erhöht um zusätzlichen Dichtestress zu erzeugen Verwendung eines anderen Messflügels (Ott-Flügel, Nr:54359)
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer	4
----------------	---

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	04.07.11, 14:18h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	06.07.11, 14:18h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 8 Ringe
Abfluss [l/s]	12,4

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	32,09	17,2
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,063	0,208
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,361
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,382

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
1	w	32,35	10	
2	w	35,82	10	
3	m	132,51	15	li. Fühler verkürzt, re. Schere verkümmert
4	w	62,87	12	1 Bein verkürzt, linker Fühler verkürzt
6	m	164,73	13	
5	w	48,25	11	
7	m	43,73	11	
8	w	29,25	9	
9	m	100,97	13	
10	m	67,06	11	
11	m	34,95	10	
12	w	39,71	10	
13	m	119,73	15	
14	m	102,64	12	
15	w	51,42	11	

Anmerkungen	s. Protokoll 3
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer **5**

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	06.07.11, 15:23h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	08.07.11, 15:23h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 8 Ringe
Abfluss [l/s]	12,4

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	37,79	22,4
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,055	0,221
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,068
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,068

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
16	m	89,69	12	
17	w	41,9	11	
18	m	37,65	9	linke Schere fehlt
19	w	12,46	8	
28	w	59,75	12	
29	m	34,42	9	
20	m	98,31	12	
21	m	66,21	11	
22	m	64,67	10	
23	w	49,32	11	
24	w	75,96	13	
25	m	52,41	11	rechte Schere fehlt
26	m	54,43	11	
27	m	45,47	10	
30	w	24,42	9	

Anmerkungen	s. Protokoll 3
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebssperre

Versuchsnummer **6**

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	09.07.11, 14:19h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	11.07.11, 0:0h
Köder (Art, Menge)	Frolic, 8 Ringe
Abfluss [l/s]	12,4

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	48,09	34
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,043	0,146
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,068
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,068

Tiere				
Nummer	Geschlecht	Gewicht [g]	Länge [cm]	Besonderheiten
15	w	51,42	11	
31	m	52,74	11	
32	w	24,91	10	
33	m	45,12	11	
34	w	26,3	8	
35	m	38,49	11	
36	w	51,23	12	
37	w	30,16	10	rechte Schere fehlt
38	w	28,76	9	
39	m	54,67	12	
40	m	32,44	9	
41	m	9,59	6	
42	w	25,13	8	
43	w	49,59	12	
44	m	25,51	10	

Anmerkungen	s. Protokoll 3
Ergebnis	Sperre nicht überwunden

Versuchsprotokoll Krebs Sperre – Zusatzversuch

Versuchsnummer	7
----------------	---

Versuchsanfang (Datum, Uhrzeit)	19.07.11, 17:06h
Versuchsende (Datum, Uhrzeit)	20.07.11, 17:35h
Köder (Art, Menge)	-
Abfluss [l/s]	12,4

	Fließrinne	Sperre
Wassertiefe [cm]	28,8	12,2
mittlere Fließgeschwindigkeit [m/s]	0,072	0,407
Fließgeschwindigkeit Sohle [m/s]	-	0,498
Fließgeschwindigkeit Oberfläche [m/s]	-	0,519

Tiere	<p>3 Groppen, Länge: ca. 11 – 13cm</p>
-------	--

Anmerkungen	Kies wurde während des Versuchs weitestgehend entfernt. Zuhilfenahme von einem kleinen Fischernetz, um die Groppen aufzuschrecken und zum Schwimmen zu animieren.
Ergebnis	Sperre wurde von einem Exemplar überwunden