

**Untersuchungen zur Überwindbarkeit von
fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse**
umfasst einen Protokollband

Schriftliche Hausarbeit im Rahmen der ersten Staatsprüfung

eingereicht von

Susanne Vaeßen

Institut für Umweltforschung (Biologie V),
Lehr- und Forschungsgebiet Ökosystemanalyse
Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen

Gutachter: Prof. Dr. Henner Hollert

Aachen, Dezember 2010

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung

1.1 Gefährdung des heimischen Edelkrebses (Astacus astacus) durch den Signalkrebs (Pacifastacus leniusculus).....	S. 1
1.2 Die Wasserrahmenrichtlinie.....	S. 3
1.3 Rückhalt nicht heimischer Flusskrebsarten durch physikalische Barrieren.....	S. 4
1.3.1 Untersuchungen zu Flusskrebsbarrieren ohne besondere Berücksichtigung des Fischzugs.....	S. 6
1.3.2 Versuche zu fischpassierbaren Krebsbarrieren.....	S. 11
1.3.3 Flusskrebsbarrieren in stehenden Gewässern / Untersuchungen des Schwimmverhaltens.....	S. 18
1.4 Aufgabenstellung.....	S. 20

2. Material und Methode.....

S. 23

2.1 Grundidee.....	S. 23
2.2 Versuchsaufbau.....	S. 24
2.2.1 Die Fließrinne.....	S. 24
2.2.2 Versuchskammern.....	S. 25
2.2.3 Die Barrieren.....	S. 28
2.3 Die Versuchstiere.....	S. 30
2.3.1 Herkunft.....	S. 30
2.3.2 Fang, Hälterung und Ernährung.....	S. 32
2.3.3 Verbleib der Tiere.....	S. 34
2.4 Versuchsablauf.....	S. 34
2.4.1 Versuchsdauer.....	S. 35
2.4.2 Lockmittel.....	S. 35
2.4.3 Videoüberwachung.....	S. 35
2.4.4 Einsatz der Versuchstiere.....	S. 38
2.5 Abiotische Messparameter und Einstellungen – Messgeräte.....	S. 38
2.5.1 Abfluss.....	S. 39
2.5.2 Wehr / Wassertiefe Unterstrom.....	S. 40
2.5.3 Rinnenneigung.....	S. 42

2.5.4 Neigungswinkel der Krebsbarrieren.....	S. 42
2.5.5 Höhe der Sperrenkante.....	S. 45
2.5.6 Wassertiefe auf Sperrenhöhe.....	S. 45
2.5.7 Strömungsgeschwindigkeit.....	S. 45
2.5.8 Wassertemperatur.....	S. 47
2.5.9 Sauerstoffgehalt.....	S. 48
2.6 Biotische Messparameter: Datenerfassung Versuchstiere –	
Verhaltensbiologie.....	S. 49
2.6.1 Geschlecht.....	S. 49
2.6.2 Länge.....	S. 50
2.6.3 Gewicht.....	S. 50
2.6.4 Dichte.....	S. 50
2.6.5 Ernährungszustand.....	S. 51
2.6.6 Besonderheiten.....	S. 51
2.6.7 Verhaltensanalyse.....	S. 51
2.7 Versuche zur Sperrenrauheit.....	S. 52
2.8 Zusatzversuche zur Schwimmggeschwindigkeit der Tiere.....	S. 53
3. Ergebnisse.....	S. 55
3.1 Einfluss abiotischer Faktoren auf die Sperrenüberwindbarkeit.....	S. 55
3.1.1 Abfluss.....	S. 55
3.1.2 Sperrenneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit.....	S. 58
3.1.3 Sperrenrauheit.....	S. 62
3.2 Weitere abiotische Faktoren.....	S. 64
3.2.1 Wehr und Wasserstand, Höhe der Sperrenkante – Wassersäule.....	S. 65
3.2.2 Rinnenneigung.....	S. 65
3.2.3 Wassertemperatur.....	S. 65
3.2.4 Sauerstoffgehalt.....	S. 65
3.2.5 Bildung von Wirbeln.....	S. 66
3.3 Einfluss biotischer und verhaltensbiologischer Faktoren.....	S. 66
3.3.1 Klettern.....	S. 67
3.3.2 Schwimmen/Rückstoß.....	S. 67
3.3.3 Bildung von „Räuberleitern“ - Besatzdichte.....	S. 70
3.3.4 Bewegung in Strömungsrichtung.....	S. 71

3.3.5 Verletzungen, Geschlecht, Länge, Gewicht.....	S. 71
3.3.6 Ungültige Versuche - Benutzung des Randspalts.....	S. 72
3.3.7 Schwimmggeschwindigkeit.....	S. 72
4. Diskussion/Ausblick.....	S. 75
4.1 Korrelation Fließgeschwindigkeit/Sperrenneigungswinkel bei glatter Sperrenplatte.....	S. 75
4.1.1 Kletterverhalten.....	S. 76
4.1.2 Bildung von „Räuberleitern“.....	S. 77
4.1.3 Verletzungen und Geschlecht.....	S. 77
4.2 Einfluss der Sperrenrauheit auf die Kletterleistung.....	S. 78
4.3 Bedeutung des Schwimmverhaltens.....	S. 80
4.4 Zusammenfassung und Prüfung der Hypothesen.....	S. 83
5. Zusammenfassung.....	S. 89
6. Literaturverzeichnis.....	S.91
8. Danksagungen	
10. Erklärung	
11. Anhang: Versuchsprotokolle der Versuche 1-26 in beiliegendem Protokollband	

1. Einleitung

1.1 Gefährdung des heimischen Edelkrebses (*Astacus astacus*) durch den Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*)

Die oft sprunghafte Verdrängung heimischer Tier- und Pflanzenarten durch vom Menschen eingeschleppte Fremdarten kommt zur Zeit zunehmender Globalisierung immer häufiger vor und wird nach den Auswirkungen und in Abgrenzung zur natürlichen Ausbreitung zuvor gebietsfremder Arten auch als biologische Invasion bezeichnet (Kowarik 2003). Die eingeschleppten Tierarten – Neozoen – können die heimischen Populationen durch Prädation und Konkurrenz, Einschleppung von Krankheiten und Parasiten sowie Veränderungen der Flora und Vegetation durch Herbivorie dezimieren. Auch eine Veränderung des Genpools durch Hybridisierung und Rückkreuzung und die Vergrößerung des Beuteangebots für einheimische Prädatoren können sich auswirken (Ebenhard 1988). Dies ist eine globale Problematik. In Deutschland allein sind dabei zur Zeit mindestens 1123 Arten von Neozoen bekannt, von denen 262 als etabliert betrachtet werden können – die meisten von ihnen Insekten (Boye 2003).

Auch Gewässer bleiben von tierischen Invasoren nicht verschont – oft bedingt durch Kanalbauten, die Verbindungen zwischen ihnen herstellen und so die Ausbreitung von Arten fördern oder durch den Schiffsverkehr. Die Artenzahl der wirbellosen Neozoen im Rhein beispielsweise hat sich seit der Jahrhundertwende verfünffacht. Dabei etablierten sich die meisten dieser Arten in stark verbauten, verschmutzten oder erwärmten Bereichen, während Gewässer mit extremen Lebensbedingungen und wenig menschlicher Nutzung – wie die Oberläufe von Fließgewässern - häufiger verschont blieben (Boye 2003).

Zu den Leidtragenden tierischer Invasionen in deutschen Gewässern zählen auch die drei hier heimischen Flusskrebsarten: Der Edelkrebs (*Astacus astacus*, Linnaeus), der Steinkrebs (*Austropotamobius torrentium*, Schrank) und der Dohlenkrebs (*Austropotamobius pallipes*, Lereboullet) (Hager 1996, Troschel 1997) wobei letzterer ausschließlich auf ein Gebiet in Südwestdeutschland, östlich des Rheins in Baden-Württemberg beschränkt ist (Troschel & Berg 1989, Troschel & Dehus 1993, Troschel 1997, Dehus et al. 1999). Insbesondere der häufigste heimische Flusskrebs – der Edelkrebs – ist durch das starke Vorrücken fremder

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
Arten bedroht und wird deshalb hier näher behandelt.

Nach dem Zusammenbruch der einst starken Edelkrebspopulationen in Deutschland (im 19. Jahrhundert wurden noch etwa 600 t Edelkrebse jährlich exportiert) zu Beginn des 20. Jahrhunderts durch die Krebspest (*Aphanomyces astaci*, Schickora) wurden andere Arten quasi als Ersatz eingeführt. Dazu gehörten der Galizische Sumpfkrebs (*Astacus leptodactylus*, Eschscholtz), den man irrtümlich für resistent gegenüber der Krebspest hielt (Schulz et al. 2008), der Kamberkreb (*Orconectes limosus*, Rafinesque), der inzwischen der häufigste Flusskreb in Deutschland und anderen Ländern Mitteleuropas ist (Henttonen & Huner 1999), und der nordamerikanische Signalkreb (*Pacifastacus leniusculus*, Dana). Diese drei Fremdarten sind die häufigsten, die heute in deutschen Gewässern anzutreffen sind, wobei die beiden letztgenannten die Krebspest übertragen können, ohne selbst daran zu erkranken. Neben ihnen wurden auch noch weitere in die freie Wildbahn entlassen, teilweise aus wirtschaftlichen Zwecken, teilweise auch als ausgesetzte Zierkrebse aus der Aquaristik (Schulz et al. 2008).

Aphanomyces astaci selbst ist ein nordamerikanischer Fadenpilz (Schulz et al. 2008). Ursprünglich nach Europa eingeführt wurde er um 1880 zusammen mit dem Amerikanischen Kamberkreb (Pasini 2008). Eine Infektion verläuft bei heimischen Flusskrebsen zu 100 % letal (Unestam 1969, 1972), was die totale Auslöschung des betroffenen Edelkrebsbestandes zur Folge hat. Dies verdeutlicht die Gefahr, die von nicht heimischen Flusskrebsarten als Vektoren dieser Krankheit ausgeht.

Unter den eingeführten Fremdkrebsarten kommt dem Signalkreb eine besondere Bedeutung zu. Er ist nicht nur gegen die Krebspest resistent, sondern – anders als der Kamberkreb – auch in der Lage, bis in die Oberläufe der Fließgewässer vorzudringen. Dabei stellen selbst krebspestfreie Populationen dieser besonders großen Art eine Gefahr für die heimischen Krebse dar, da sie aggressiver und fruchtbarer sind und schneller wachsen. Selbst ohne die Übertragung der Krebspest wird daher ein in ein Gewässer einwandernder Signalkrebsbestand, eine dort vorhandene Edelkrebspopulation auf Dauer verdrängen (Söderbäck 1991, Westman et al. 2002). Hinzu kommt, dass Signalkrebse – im Gegensatz zu Edelkrebsen – auch tagaktiv sind (Lewis 2002, Pasini 2008), was auch am Entnahmegewässer festgestellt werden konnte.

Die letzten Rückzugsgebiete des Edelkrebses liegen heute in isolierten Gewässern wie

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
Kleinseen, Stauteichen, Talsperren, wassergefüllten Kiesgruben und vor allem auch in Oberläufen von Fließgewässern (Blanke 1998, Blanke & Schulz 2002), während die Unterläufe gerade größerer Wasserstraßen bereits mit nicht heimischen Flusskrebsarten – hier insbesondere mit dem Amerikanischen Kamberkrebs - verseucht sind (Momot 1988, Troschel & Dehus 1993, Dehus et al. 1999). Dabei breiten sich die Fremdarten und ganz besonders der Signalkrebs jedoch immer weiter stromaufwärts aus, was die verbliebenen Bestände heimischer Arten in Gefahr bringt. 1989 wurde zwar auf Grundlage des Bundesartenschutzgesetzes der Import lebender Flusskrebse nach Deutschland verboten, diese Regelung wurde aber 1994 vom Europäischen Gerichtshof für ungültig erklärt, da sie gegen das Gebot des freien Warenhandels verstoße (Schulz et al. 2008). So ist es bis heute in Deutschland legal, fremde, möglicherweise mit der Krebspest verseuchte Krebsarten in Gartenteichen zu halten, von wo aus sie in umliegende Gewässer abwandern können. Dass es auch anders geht, zeigt die Gesetzgebung in der Schweiz. Hier ist laut der Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei jedes Einführen oder Einsetzen einer lebenden, nicht-heimischen Krebsart vom Bund zu genehmigen (Art. 6 VBGF). Die Genehmigung wird allerdings nur dann erteilt, wenn es sich um Tiere handelt, die nur für öffentliche Ausstellungen oder zu Forschungszwecken genutzt werden sollen. Da sich das Einsetzen in diese Gesetzgebung auch auf künstliche Gewässer wie Aquarien und Gartenteiche bezieht (Art. 6 Abs. 4 VBGF), geht daraus auch ein Haltungsverbot hervor, welches die Gefahr unerwünschter Aussetzungen doch zumindest stark vermindern sollte (Stucki & Zaugg 2006).

1.2 Die Wasserrahmenrichtlinie

Am 22. Dezember des Jahres 2000 trat die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft in Kraft. Diese Richtlinie schafft einen Ordnungsrahmen für den Schutz auch der Binnenoberflächengewässer. Genauer wird darin für oberirdische Gewässer gefordert, dass diese bis zum Jahr 2015 einen guten ökologischen und chemischen Zustand erreicht haben sollen und dass auch erheblich veränderte oder künstliche Gewässer bis dahin ein gutes ökologisches Potenzial und einen guten chemischen Zustand aufweisen sollen (Richtlinie 2000/60/EG). Obwohl diese Zielsetzungen zunächst sicher positiv zu bewerten sind, bringen sie zu Zeiten der Neozoen-Problematik allerdings auch Probleme mit sich.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung

In Bezug auf hydromorphologische Qualitätskomponenten von Oberflächengewässern, wird unter anderem auch die Durchgängigkeit eines Flusses bewertet. Demnach ist ein Fließgewässer in einem sehr guten Zustand, wenn seine Durchgängigkeit nicht durch menschliche Tätigkeiten gestört und eine ungestörte Migration aquatischer Organismen und der Transport von Sedimenten ermöglicht wird. Das höchste ökologische Potenzial eines Gewässers ist laut der Richtlinie dann erreicht, wenn die hydromorphologischen Bedingungen so beschaffen sind, „dass sich die Einwirkungen auf den Oberflächenwasserkörper auf die Einwirkungen beschränken, die von den künstlichen oder erheblich veränderten Eigenschaften des Wasserkörpers herrühren, nachdem alle Gegenmaßnahmen getroffen worden sind, um die beste Annäherung an die ökologische Durchgängigkeit, insbesondere hinsichtlich der Wanderungsbewegungen der Fauna und angemessener Laich- und Aufzuchtgründe, sicherzustellen.“ Mit anderen Worten sollen also die künstlichen Hindernisse, wie Wehre, Dämme und Verrohrungen, die nicht unbedingt benötigt werden, entfernt und die übrigen so weit wie möglich passierbar gemacht werden (Richtlinie 2000/60/EG). Die geographische Isolation von Fließgewässerabschnitten durch Wehre und Dämme stellt aber an vielen Stellen einen wirksamen Schutz der darin vorkommenden heimischen Krebsbestände dar (Bohl 1987, Gross 2003). Dass nicht nur Fische, sondern auch nicht heimische Krebsarten die neu erworbene Durchgängigkeit von Fließgewässern nutzen werden, liegt auf der Hand.

1.3 Rückhalt nicht heimischer Flusskrebarten durch physikalische Barrieren

Eine verbesserte Durchgängigkeit der Fließgewässer kann für heimische Flusskrebse also eine große Gefahr darstellen. Entsprechend wäre es optimal, Fremdpopulationen von Flusskrebsen selektiv zu isolieren, so dass die Durchgängigkeit des Gewässers für andere Spezies – insbesondere für Fische – erhalten bleibt.

Auf dieser Überlegung basierte die Idee von Dr. Harald Groß, dem Leiter des Edelkrebsprojekts NRW, eine Flusskrebbarriere zu entwickeln, die in bereits vorhandene wasserbauliche Strukturen - insbesondere Fischtreppe - eingebaut werden kann und über eine glatte Fläche, welche sich in ausreichendem Winkel von der Sohle abhebt, die

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
Wanderung von Krebsen unterbindet. Der erste Schritt in der Entwicklung einer solchen Sperre sollte dabei in der Erarbeitung einer ersten Korrelation zwischen Fließgeschwindigkeit und benötigter Sperrenneigung bestehen. Die Motivation, einen möglichst niedrigen Winkel für die entsprechenden Strömungsverhältnisse zu finden, ergibt sich aus der Notwendigkeit, auch bodenbewohnenden Fischen die Überwindung der Barriere zu ermöglichen. Gleichzeitig sollte auch schon das Verhalten der Krebse im Tierversuch genauer beobachtet werden.

Für dieses Vorhaben wurde eine künstliche Fließrinne benötigt, in der Strömungsgeschwindigkeiten variiert und Prototypen von Krebsbarrieren in unterschiedlichen Winkeln im Tierversuch getestet werden konnten. Daraus resultierte die Zusammenarbeit des Edelkrebsprojekts NRW mit der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Prof. Dr. Henner Hollert, Leiter des Lehr- und Forschungsgebiets Ökosystemanalyse (ESA) am Institut für Umweltforschung betreute dabei den biologischen Teil der Arbeit, während die Versuche selbst in Zusammenarbeit mit dem Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) unter der Leitung von Prof. Dr. Holger Schüttrumpf in der institutseigenen Versuchshalle durchgeführt wurden. Von wasserbaulicher Seite wurden dabei alle Versuche unterstützend von Dr. Roy M. Frings begleitet. Die technische Verwirklichung des Versuchsaufbaus erfolgte unter der Aufsicht von Dipl.-Ing. Sebastian Roger, dem Leiter der Versuchshalle.

Das Edelkrebsprojekt NRW beschäftigt sich mit der Erfassung und dem Monitoring heimischer und nicht-heimischer Flusskrebsarten in NRW, um auf Grundlage der ermittelten Daten das Risiko einer Krebspestübertragung oder einer Einwanderung nicht heimischer Arten abschätzen zu können (http://www.edelkrebsprojekt nrw.de/start_frame.htm). Über die vorliegenden Verbreitungsdaten war es möglich, für die Versuchsreihen auf einen bekannten Signalkrebsbestand bei Aachen Walheim zurück zu greifen und die Versuchstiere von dort zu beziehen.

In der Vergangenheit wurden bereits in verschiedenen Ländern diverse Möglichkeiten zur Isolation einwandernder Flusskrebse erprobt und eingesetzt. Im Folgenden wird ein Überblick über bereits getestete Flusskrebsbarrieren gegeben.

1.3.1 Untersuchungen zu Flusskrebsbarrieren ohne besondere Berücksichtigung des Fischzugs

Es ist prinzipiell möglich, fremdländische Flusskrebspopulationen durch physikalische Barrieren an der weiteren Ausbreitung zu hindern, wie die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen zeigen.

Das Bundesamt für Umwelt der Schweiz gab im Januar 2006 einen „Nationalen Aktionsplan Flusskrebse“ heraus, der diverse Maßnahmen gegen nicht heimische Arten enthält. In der Schweiz geht die größte Bedrohung heimischer Krebsbestände ebenfalls von *Pacifastacus leniusculus* aus, sowie – an zweiter Stelle – dem Roten Amerikanischen Sumpfkrebs (*Procambarus clarkii*, Girard), während der Kamberkreb dort auf Gewässer beschränkt bleibt, die ihm die benötigten Temperaturen bieten – meist große Still- und Fließgewässer des Mittellandes, in denen die heimischen Arten ohnehin nicht mehr vorkommen (Stucki & Zaugg 2006).

An erster Stelle der Bekämpfungsmaßnahmen steht dort die geographische Isolierung nicht-heimischer Krebspopulationen in Stillgewässern und begrenzten Strecken von Fließgewässern zum Schutz der heimischen Arten in den Oberläufen. Dabei ist unter anderem der Einsatz von Tauchbögen mit Siphon-Wirkung, Fangnetzen, -körben, oder -kammern vorgesehen. Im Kanton Aargau werden Maßnahmen dieser Art in zwei Gewässern bereits seit 1996 erprobt und als wirksam und effizient beschrieben, den dort vorkommenden Roten Amerikanischen Sumpfkrebs an der Ausbreitung zu hindern. Allerdings werden mit diesen Barrierentypen auch Fische ab einer bestimmten Größe zurückgehalten, wie auch aus Abbildung 1 hervorgeht. Prinzipiell wird daher auch im „Nationalen Aktionsplan Flusskrebse“ das Errichten künstlicher Wanderhindernisse in Fließgewässern zum Schutz der Oberläufe als nicht wünschenswert eingestuft und sollte nur bei einer direkten Bedrohung durch einwandernde Fremdarten eingesetzt werden (Stucki & Zaugg 2006).



Abbildung 1: Fangkorb am Mülibach, Mellingen (Stucki & Zaugg 2006)

Im Vereinigten Königreich gibt es ähnliche Versuche, nicht-heimische Flusskrebse mit entsprechenden Installationen an der weiteren Ausbreitung zu hindern. Auch hier ist der Signalkrebs die Art, die sich am stärksten ausbreitet und die größte Bedrohung für die heimischen Arten darstellt. In einer Studie von Peay (2001), wurde eine Fanggrube als Rückhaltmethode erprobt.

Dies geschah am Fluss Ure, wo ein 3 ha großer Angelteich stark von Signalkrebsen befallen war. Diese waren bereits über ein Auslassrohr des Teichs in einen dahinter gelegenen Bach entkommen, von dem aus sie in den Fluss weiterwandern konnten, in dem sich ein Dohlenkrebsbestand befand. Um eine weitere Ausbreitung der Neozoen zu verhindern, und das Design generell zu erproben, wurde am Auslassrohr des Teichs eine Fangkammer

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung installiert. Durch das Rohr wandernde Tiere, endeten in der Kammer, die am Boden mit Versteckmöglichkeiten versehen war, um Dichtestress und damit einhergehende Fluchtversuche möglichst gering zu halten. Innerhalb der Fangkammer lief das Wasser oben über einen mittig in der Grube installierten Trichter ab, der wiederum mit einem Sieb gegen das Eindringen von Krebsen geschützt war. Die Strömung vom in die Grube einmündenden Rohr zum Überlauftrichter durfte dabei 0,05 m/s nicht überschreiten, um ein Hochspülen von Jungkrebse zum Trichter zu vermeiden. Abbildung 2 zeigt eine Skizze der Fangkammer. Die Kammer musste regelmäßig kontrolliert und die darin enthaltenen Tiere entfernt werden. Ihre Wirkungsweise wird zur Zeit weiter beobachtet. Bislang deutet jedoch alles darauf hin, dass sie die Signalkrebse erfolgreich am Auswandern aus dem Teich hindert. Die Dohlenkrebspopulation in der Ure ist allerdings dennoch verloren, da es nicht gelang, die bereits zugewanderten Tiere auszurotten. Außerdem wird angemerkt, dass die Installation einer Fangkammer nur dann als sinnvoll angesehen werden kann, wenn das Rohr, in dem sie installiert wird, den einzigen Ausgang aus dem Stillgewässer darstellt. (Peay 2001).

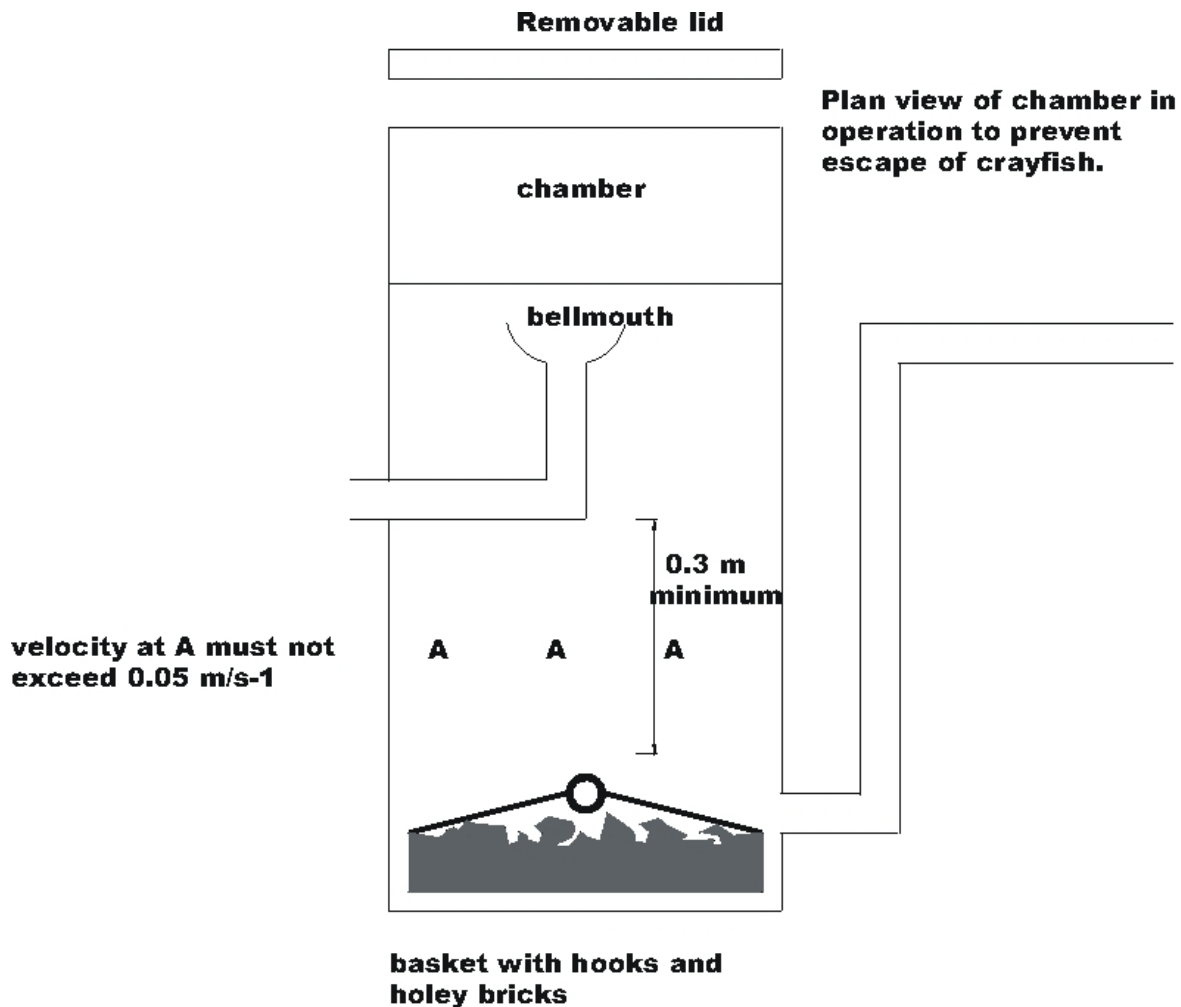


Abbildung 2: Skizze einer Fangkammer, installiert am River Ure (aus: Eradication of alien crayfish populations, Peay 2001)

Neben Fanggruben nennt Peay (2001) ausreichend hohe Staumauern von Talsperren als möglichen Schutz einer in der Talsperre lebenden Dohlenkrebspopulation vor einem stromaufwärts wandernden Signalkrebsbestand. Dies gilt ihrer Meinung nach aber nur, wenn der Wasserablauf der Staumauer direkt über die glatte Betonwand oder einen trichterförmigen Auslass geschieht.

Andere Barrieren erwiesen sich dagegen in der Studie als unwirksam gegen die weitere Ausbreitung amerikanischer Flusskrebse. So bestand am Fluss Rother bei New Hampshire in West Sussex Grund zu der Annahme, dass zwei dort vorhandene Wehre die weitere Ausbreitung einer Signalkrebspopulation stromaufwärts verhinderten. Oberhalb der Wehre bestand auch dort eine Dohlenkrebspopulation. Das stromaufwärts gelegene Wehr war dabei

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung mit knapp 1 m Höhe etwas größer als das untere ($\sim 0,3$ m). Um herauszufinden, ob die Wehre tatsächlich eine Wanderbarriere für die Signalkrebse darstellten, wurde ihre obere Verbreitungsgrenze überwacht. Dabei wurde jedoch bald festgestellt, dass die Wehre die Verbreitung lediglich temporär etwas verlangsamt hatten. 1997 wurden Signalkrebse zwischen den beiden Wehren festgestellt. Zwei Jahre später konnten sie auch oberhalb der Wehre nachgewiesen werden. Als Grund für die mangelnde Barrierenwirkung wurden die rauen und veralgten Steinwände der Wehre vermutet, die den Krebsen ein Überklettern bei niedrigen Wasserständen gestatteten (Peay 2001). Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer absolut glatten Barriere ohne jede Möglichkeit zum Festhalten für die Tiere.

Ebenso erwiesen sich Kanalschleusen als passierbar für Signalkrebse, da diese über Abflüsse verfügen, die von ihnen überwunden werden können. Alte Schleusen wurden sogar bevorzugt als Versteckmöglichkeiten genutzt (Peay 2001).

Peay (2001) zog in ihren Untersuchungen zu wirksamen Krebsbarrieren auch eine Umzäunung von Stillgewässern mit Amphibienzäunen in Erwägung, untersuchte diese Möglichkeit aber aufgrund der Kletterfähigkeit der Tiere nicht weiter. Auch sie merkt an, dass jede Struktur, die in ein Fließgewässer eingebaut wird, den Fischzug behindert und daher nicht erstrebenswert ist.

Ein weiteres Beispiel, dass insbesondere im Zusammenhang mit der Wasserrahmenrichtlinie hochinteressant ist, ist ein Fall aus den USA. Hier erwiesen sich an einem Fluss in Kalifornien vier Durchlassrohre unter einer Straße als wirksame Barriere gegen Flusskrebse. Während oberhalb der Straße ein autochtoner Shasta-Flusskrebsbestand (*Pacifastacus fortis*, Faxon) existierte, war eine stromaufwärts ziehende Signalkrebspopulation bis exakt unter die Durchlassrohre gewandert (erste Dokumentation 1985). Durch die starke Strömungsgeschwindigkeit in den Rohren und ihre glatte Beschaffenheit, war es den Signalkrebsen nicht möglich, diese zu durchqueren. Trotz einer hohen Populationsdichte unterhalb der Durchlässe konnte keine Invasion des Shasta-Bestandes festgestellt werden. Als sich die Rohre in den späten 90er Jahren jedoch mit Ablagerungen von der darüber liegenden Straße zusetzten, konnten die Tiere ausreichenden Halt finden und in das Rückzugsgebiet der Shasta-Krebse einwandern (Ellis 2005). Dieser Fall ist insbesondere deswegen so interessant, da die Wasserrahmenrichtlinie den Ersatz üblicher Durchlässe beispielsweise an Hochwasserrückhaltebecken durch so genannte Ökodurchlässe oder Ökostollen vorsieht, in

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
denen unter anderem die Fließgeschwindigkeit begrenzt und das Sohlenprofil rau ist, um
Lauftieren die Passage zu ermöglichen (Horlacher et al. 2007). Welche Bedeutung der
Aufrauung der Sohle in einem Rohr zukommt, wird von diesem Fall, in dem diese rein
zufällig eintrat, verdeutlicht.

1.3.2 Versuche zu fischpassierbaren Krebsbarrieren

Wie bereits deutlich wird, sind alle bisher genannten Barrieren entweder zur Gänze
unwirksam oder blockieren nicht nur die Ausbreitung der Signalkrebse sondern auch die
Wanderung der Fische. Doch es hat bereits Versuche zur Entwicklung selektiver Barrieren
gegeben.

Beispielsweise wurden Barrieren, die akustische Signale aussenden, an Fischen erprobt.
Durch das Bestimmen von Frequenzbereichen, in denen eine bestimmte Art Töne erzeugt und
das anschließende Abstimmen und Aussenden ausgewählter, möglichst abschreckender
Frequenzen über Lautsprecher könnten theoretisch selektive Barrieren geschaffen werden.
Auch Signalkrebse erzeugen artspezifische Geräusche, der Einsatz akustischer Barrieren
wurde aber an ihnen noch nicht eingehend erforscht (Ellis 2005).

Elektrische Barrieren wurden in Schweden und Norwegen bereits erfolgreich eingesetzt, um
Flusskrebse an der Wanderung zu hindern (Unestam et al. 1972, Håstein & Gladhaug 1973,
1975, Söderhäll et al. 1977, Matthews and Reynolds 1990). Diese bestanden aus zwei nackten
Drähten, wovon einer am Gewässergrund, der andere schwimmend an der Oberfläche verlief -
bei einer maximalen Gewässertiefe von 1 m (Unestam et al. 1972). Mit 220 Volt
Wechselstromspannung erzeugten diese Drähte eine Leistung von 1200-1500 Watt, was
ausreichend war, jeden Krebs oder Fisch, der in die elektrifizierte Zone geriet, zu lähmen oder
zu töten (Unestam et al. 1972, Söderhäll et al. 1977). Würde man diese Art von Barriere so
modifizieren, dass auch der ursprüngliche schwimmende Draht unter Wasser verlaufen würde
– etwa 25 cm über dem am Bodengrund befindlichen zweiten Draht – würde die Sperre gegen
Krebse wirksam bleiben, Fischen in der darüber liegenden Wassersäule aber eine
Überquerung ermöglichen (Ellis 2005). Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass
bodenbewohnende Fische eine solche Barriere überschwimmen würden. Diese würden mit
großer Wahrscheinlichkeit ebenso wie die Krebse abgetötet werden. Inzwischen sind auch

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung modernere Barrieren dieser Form von der Firma Smith-Root Incorporation erhältlich, die statt mit offenen Drähten mit fest installierten Elektroden arbeiten und so ein graduiertes elektrisches Feld erzeugen, aus dem gelähmte Fische von der Strömung wieder heraus gespült werden (siehe Abbildung 3).

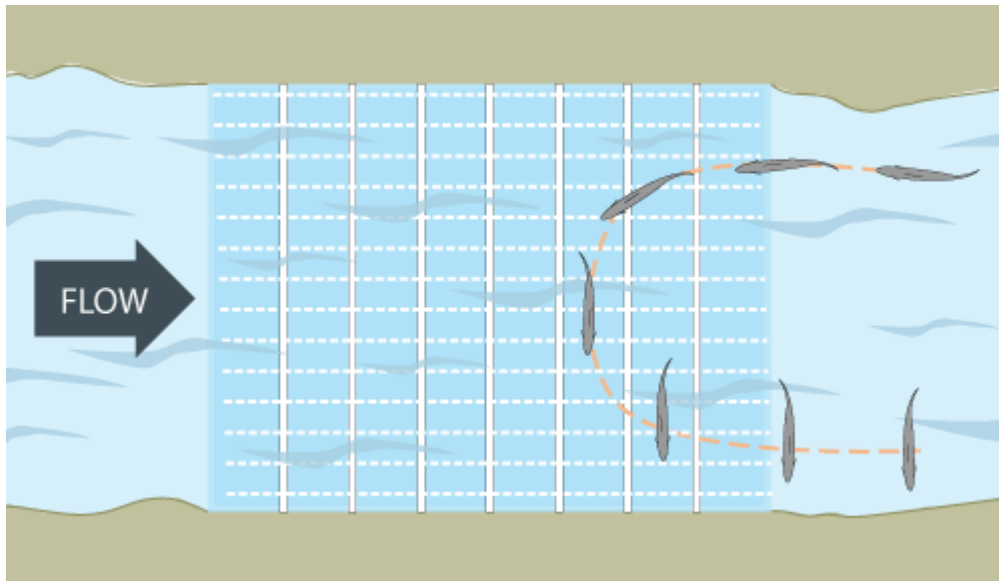


Abbildung 3: Elektrische Barriere mit graduiertem elektrischem Feld zur Fischabwehr der Firma Smith-Root Inc. (<http://www.smith-root.com/products/barriers/>)

Bei Gewässern mit niedriger Fließgeschwindigkeit wird dieses Modell ohne Graduierung der Stromstärke betrieben, um Tiere, die die Grenze des Feldes erreichen unmittelbar abzuschrecken. Ellis (2005) nimmt an, dass eine solche Barriere besser an die Abschreckung von Krebsen angepasst werden könnte, wenn der isolierende Untergrund der Elektroden, entfernt und so mehr Strom in den Gewässergrund und weniger in die darüber befindliche Wassersäule fließen würde. Die abschreckende Wirkung auf Fische würde aber auch hier – wenn auch in abgeschwächter Form – erhalten bleiben.

Konkrete Versuche, eine fischpassierbare Krebs Sperre zu entwickeln, wurden im Januar 2005 in den USA unternommen. Der Grund dafür lag in der Bedrohung der letzten Bestände des seltenen und stark gefährdeten Shasta-Flusskrebse (*Pacifastacus fortis*, Faxon) durch einwandernde Signalkrebse. Shasta-Flusskrebse kommen ausschließlich in Kalifornien und dort nur noch im mittleren Bereich des Pit River Systems in Nordosten des Bundeslandes vor

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung (Shasta County). Das Eindringen von Signalkrebsen in diesen wertvollen Restlebensraum führte zu einem dramatischen Rückgang der Shasta-Population (Ellis 2005). Signalkrebse bedrohten die einheimischen Krebse dabei nicht nur durch ökologische Konkurrenz. In Versuchen wurde festgestellt, dass die Anwesenheit dieser Art das Verhalten der Shasta-Krebse negativ beeinflusste. Diese verbrachten bei Anwesenheit von *Pacifastacus leniusculus* weniger Zeit mit der Nahrungssuche und mehr Zeit mit dem Graben von Höhlen und Ruhephasen und wurden generell inaktiver (Ellis 1999).

Um diese bedrohte Tierart zu schützen erschien es sinnvoll, Barrieren zu entwickeln, die die letzten verbliebenen reinen Populationen des Shasta-Krebse vor den weiter stromaufwärts wandernden Signalkrebsen schützten, ohne dabei Fischarten, wie die ebenfalls dort vorkommende, gefährdete und besonders geschützte Raue Groppe (*Cottus asperimus*, Rutter) genetisch-geographisch zu isolieren. An der Universität von Davis, Kalifornien wurden daher Versuche unternommen, eine für Fische passierbare Krebssperre zu entwickeln (Ellis 2005).

Hierbei wurden drei Barrierendesigns erprobt, die nicht nur Signalkrebse zurückhalten und Fische passieren lassen, sondern auch den Transport von Sedimenten – für den geplanten Einbau der Barrieren direkt ins Bachbett - ermöglichen sollten (Ellis 2005).

Bei dem ersten Design handelte es sich um eine einfache, physikalische Barriere mit einem am oberen Rand befindlichen Überhang, die für den Einsatz in fließenden wie auch stehenden Gewässern entwickelt wurde. Die Barrierenwand wurde dabei in zwei Varianten sowohl vertikal (siehe Abbildung 4) als auch graduell abfallend (siehe Abbildung 5) getestet, wobei letztere Variation einen verbesserten Sedimenttransport ermöglichen sollte (Ellis 2005).

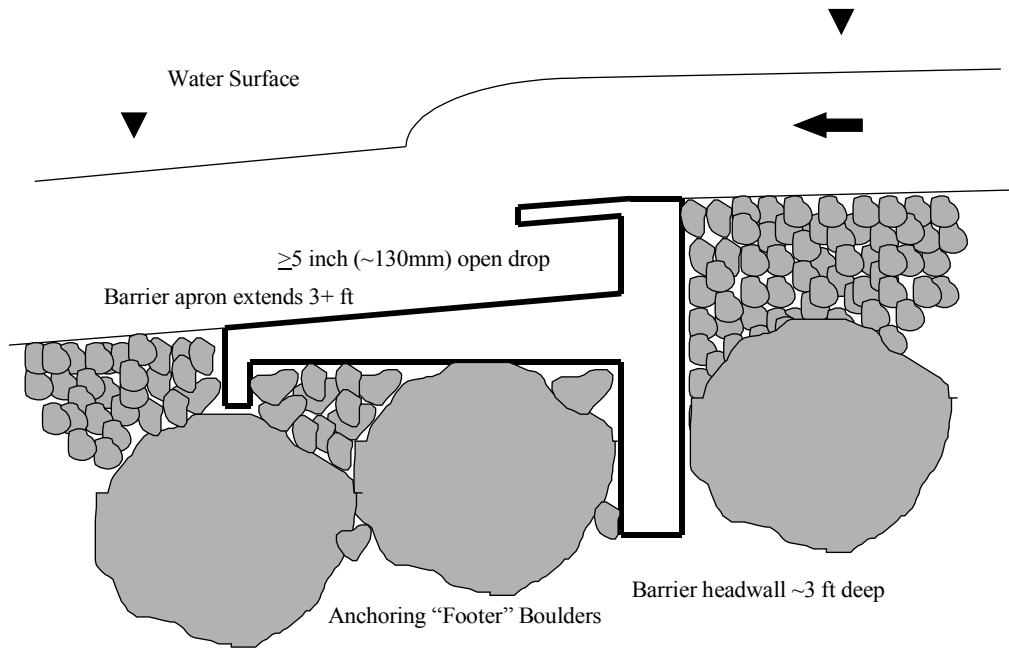


Abbildung 4: Flusskrebssbarriere mit Überhang und vertikaler Wand (Ellis 2005)

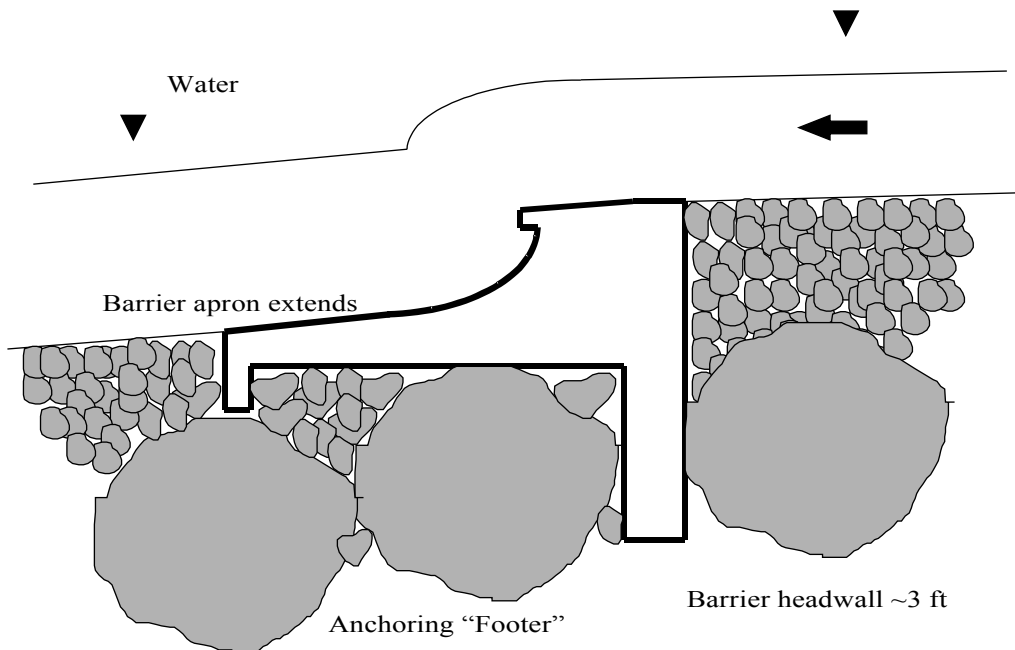


Abbildung 5: Flusskrebssbarriere mit Überhang und graduell auslaufender Wand zum Sedimenttransport (Ellis 2005)

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung

Das zweite Design wurde mit noch stärkerem Augenmerk auf dem Sedimenttransport entwickelt und bestand in einer nach oben geöffneten Vortex-Röhre aus PVC, welche in einem Winkel zur Strömungsrichtung in der Gewässersohle verlegt, einen Strudeleffekt in ihrem Inneren erzeugen sollte, der Sedimente zu den Ausgängen der Röhre transportiert (siehe Abbildung 6). Als mögliche Varianten wurden hier unterschiedliche Röhren-Durchmesser (1; 1,5; 2; und 3 Zoll = 2,54; 3,81; 5,08; 7,62 cm), verschiedene Positionen von Sedimentauslässen (ein Auslass in der Mitte der Sohle zwischen zwei halben Röhren oder je ein Auslass am linken und rechten Sohlenrand), unterschiedliche Auslassgrößen, Lagewinkel der Röhren, und Öffnungswinkel der Auslässe sowie Röhren mit und ohne strömungssteuernde Lamellen im Inneren untersucht (Ellis 2005).

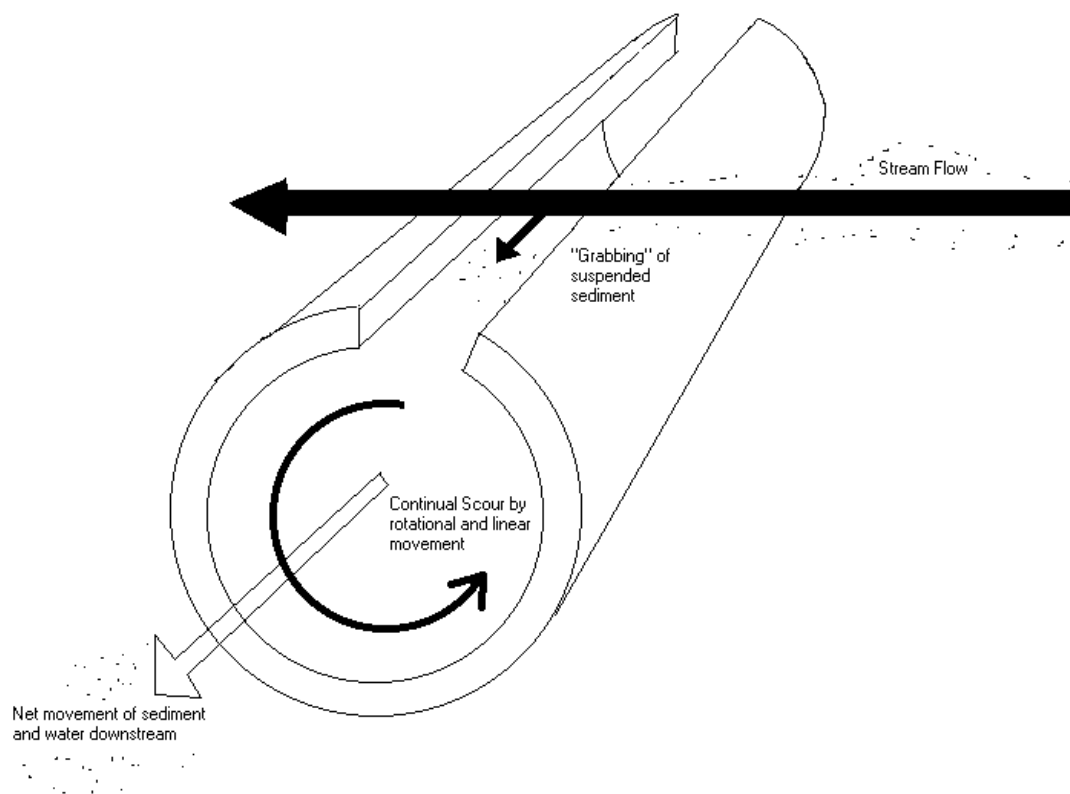


Abbildung 6: Vortex-Röhre mit Strudelbildung zum Sedimenttransport (Ellis 2005)

Beim dritten Design handelte es sich um eine Modifikation der erstgenannten physikalischen Barriere, mit einem horizontalen Umlenkflügel zur Strömungssteigerung unmittelbar über der

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung Sperrenkante (siehe Abbildung 7), um den Sedimenttransport zu verbessern (Ellis 2005).

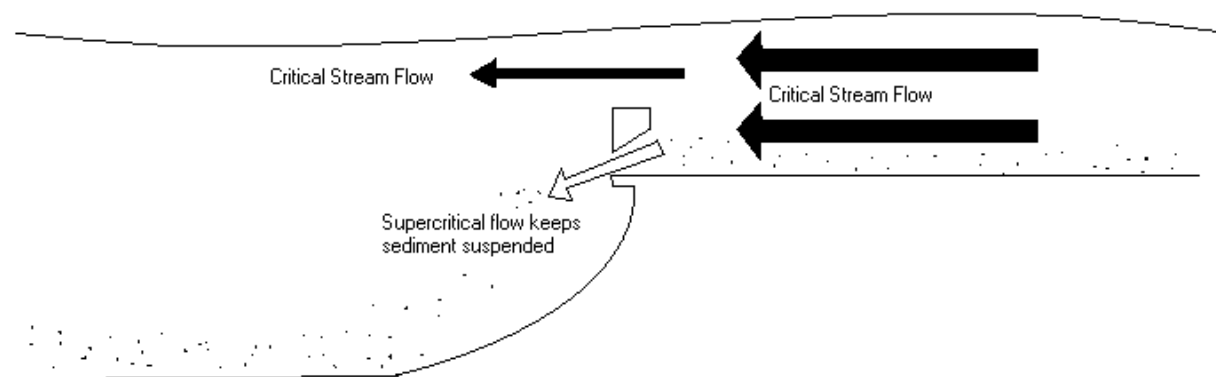


Abbildung 7: Barriere mit strömungssteigerndem Umlenkflügel zur Verbesserung des Sedimenttransports (Ellis 2005)

Alle Designs wurden in künstlichen Fließrinnen getestet. Jeder Versuch dauerte 45 bis 60 Minuten, wobei die Fließgeschwindigkeit alle 10 Minuten um etwa 0,305 m/s (1 fps) von 0 bis maximal 0,914 m/s (3 fps) erhöht wurde. Anschließend wurde die Strömungsgeschwindigkeit wieder schrittweise verringert (Ellis 2005).

Unter diesen Versuchsbedingungen wurden sowohl Signalkrebse als auch Fische - Regenbogenforellen (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) als Freiwasserfische sowie Geriffelte (*Cottus gulosus*, Girard) und Dornige Groppen (*Cottus asper*, Richardson) als Bodenfische - mit den Barrieren konfrontiert. Die Tiere erhielten dabei jeweils 30 Minuten Zeit zur Akklimatisierung, bevor der Versuch gestartet wurde. Als zusätzliche Motivation zur Sperrenüberwindung wurden belüftete Köderkörbchen mit Hühnerlebern auf der anderen Seite der Barriere angeboten. Lediglich bei den Forellen wurde kein Köder eingesetzt, da diese stets gegen die Strömung schwammen und so umgehend eine Überwindung der Barrieren anstrebten. Sowohl Krebse als auch Groppen wurden während der

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
Fließrinnenversuche immer wieder auch mit Netzen aufgeschreckt, um zu prüfen, ob sie während eines Fluchtversuchs über die Barriere schwimmen würden. Des Weiteren wurden auch Krebse, Forellen und Groppen jeweils zusammen in den Versuchsaufbau gesetzt, um das Verhalten der Tiere bei Anwesenheit der anderen Arten zu beobachten. Zusätzlich wurde der Sedimenttransport an den verschiedenen Sperrendesigns untersucht, indem Sand und zermahlene Walnusschalen in die Rinne eingebracht wurden (Ellis 2005).

Die Versuchsergebnisse zeigten, dass alle Barrierendesigns bis auf Design 3 (s. u.) Fischen die Passage ermöglichten. Allerdings hielt nur die vertikale Variante des Designs 1 auch Krebse erfolgreich zurück (Ellis 2005).

Die Vortexröhren (Design 2) erwiesen sich als zu klein, um Signalkrebse zurück zu halten. Wurden sie größer dimensioniert, funktionierte jedoch der damit beabsichtigte Sedimenttransport nicht mehr, weil keine Strudel innerhalb der Röhren zustande kamen. Höhere Geschwindigkeiten, die aber an den in Frage kommenden Installationsorten der Barrieren nicht gegeben waren, hätten eventuell auch die Konstruktion einer größeren Röhre interessant werden lassen. Da aber selbst bei funktionierender Strudelbildung Sedimente unmittelbar hinter den Röhrenaugängen abgelagert wurden, wurde dieses Design nicht weiter erprobt (Ellis 2005).

Die Verengungsbarriere (Design 3), die ebenfalls zum Sedimenttransport entwickelt worden war, wurde ebenfalls nicht weiter verfolgt, da sie Sedimente nur dann erfolgreich abtransportierte, wenn die Sperrhöhe mindestens zwei Drittel der Wassertiefe ausmachte. Stieg der Wasserstand über der Barriere an, misslang die Weiterleitung von Sedimenten. Ab dieser Höhe konnten Groppen die Barriere aber selbst unter direkter Bedrängung mit einem Netz nicht mehr überwinden und Forellen blieben ebenfalls hinter der Barriere im Wasser stehen, da das Verengungsblech zu viel Platz einnahm (Ellis 2005).

Die vertikale Variante der Überhangsbarriere (Design 1) erwies sich als wirksam gegen ein Überklettern durch Krebse, wobei eine vertikale Wand von 12 Zoll (30,48 cm) Höhe unter dem Überhang (~ 2 Körperlängen eines ausgewachsenen Signalkrebses) sich als ausreichend zeigte. Die graduell abfallende Variante konnte dagegen von ausgewachsenen Tieren überwunden werden, indem diese auf dem abfallenden Blech so weit wie möglich hochkletterten und sich dann unter Nutzung der Nähte an den Rändern zwischen Fließrinne und Barrierenblech am Überhang hoch zogen. Groppen waren zwar in der Lage, die

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung
Überhangbarriere zu überschwimmen, wenn sie mit einem Netz gejagt wurden, taten dies aber niemals ohne vorherige äußere Einwirkung. Ungestört blieben sie lediglich unterhalb der Barriere am Boden liegen (Ellis 2005). Dies deckt sich mit Befunden von Utzinger et al. (1998), dass die stromaufwärts gerichtete Bewegung Europäischer Groppen (*Cottus gobio*, Linnaeus) durch Hindernisse von 18-20 cm Höhe unterbrochen wird. Wenn das Design auch prinzipiell für Groppen überschwimmbar war, so schien es doch eine Verhaltensbarriere für die Tiere darzustellen. Im Gegensatz dazu fing die Pacific Gas and Electric Company (PG&E) Groppen auch in der Wassersäule. Diese machten mit 49 Exemplaren jedoch nur 0,1 % des gesamten Fangs aus (PG&E 2002).

Das erfolgreiche Design der Überhangsbarriere mit vertikaler Wand wurde tatsächlich bereits an einer Stelle im oberen Fall River im betroffenen Gewässersystem eingesetzt. Der Bau erfolgte allerdings unter der Annahme, das Raue Groppen nicht in der Lage sein würden, die Barriere stromaufwärts zu überschwimmen. Da diese Bodenfische ihren Laich ins offene Wasser abgeben und Eier und Larven somit zumindest stromabwärts transportiert werden können, besteht die genetische Isolation durch die Barrieren lediglich für den Teil der Population, die sich oberhalb derselben befindet. Da die gefährdete Groppenart aber im gesamten Einzugsgebiet des Fall River vorkommt und nur an drei Stellen in den äußersten Oberläufen die Aufstellung der Barrieren möglich und noch lohnenswert ist, würde selbst bei Aufstellung von Barrieren an allen drei Orten weniger als 1 % der Gesamtpopulation von *Cottus asperimus* isoliert (Ellis 2005). Die Aufstellung einer solchen Barriere tiefer im Unterlauf würde dagegen wesentlich größere Anteile von Bodenfischpopulationen abtrennen.

1.3.3 Flusskrebsschwellen in stehenden Gewässern / Untersuchungen des Schwimmverhaltens

Nach der Ausarbeitung des Überhangsbarriere mit vertikaler Wand als wirksame Krepssperre, wurden in Ellis' Studie (2005) weitere Versuche durchgeführt, um heraus zu finden, ob Krepse, die diese Art von Barriere definitiv nicht kletternd überwinden konnten, sie stattdessen durch aktive Schwimmversuche überqueren würden.

Hierzu wurde zusätzlich zu den Versuchen in der Fließrinne eine Versuchsreihe in einem Pool mit 2,44 m Durchmesser (8 Fuß) und 45,72 cm Tiefe (18 Zoll) und ohne Strömung

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung durchgeführt. Die Barriere bestand aus einem 30,48 cm (12 Zoll) hohen Aluminium-Blech und hatte somit die gleiche Höhe wie die Vertikale an der ursprünglichen Sperre. Der Überhang wurde hier allerdings weg gelassen, um es den Tieren noch einfacher zu machen. Die Barriere wurde zunächst quer in den Pool eingebaut und mit Klebeband an den Rändern abgedichtet. Sie wurde von den eingesetzten Signalkrebsen umgehend überwunden, allerdings nicht durch Schwimmverhalten, sondern indem die Klebebandnähte am Übergang der Barriere zur Poolwand als Kletterhilfen genutzt wurden (Ellis 2005). Dies verdeutlicht erneut die Notwendigkeit einer absolut glatten Barrierenwand. Laut Ellis (1999) sind beispielsweise ebener Beton, sauberes Metall, Kunststoff- und Glasflächen ausreichend glatt, um ein Überklettern durch Krebse zu verhindern.

Im weiteren Verlauf wurde daher aus dem Aluminiumblech eine in sich geschlossene Barriere erstellt, die in die eine Hälfte des Pools gedrückt wurde, so dass die Poolmitte von dem Blech durchzogen wurde (siehe Abbildung 8). Die Stelle, an der die Blechenden vernietet worden waren, wurde dabei mit den Nieten gegen die Poolwand gegenüber der Barriere positioniert, um Kletterversuche zu unterbinden (Ellis 2005).



Abbildung 8: 12 Zoll hohes, in sich geschlossenes Aluminiumblech als Flusskrebsebarriere im Stillwasserversuch

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung

In die vom Blech umrandete Fläche wurden 44 Signalkrebse eingesetzt, was eine Dichte von 19 Tieren pro m² ergab. Die Tiere wurden mehrere Wochen im Pool belassen, wobei täglich kontrolliert wurde, ob die Barriere überschwommen worden war. Dabei wurden sie durch schnelle Bewegungen und Schatten von Personen, Anstoßen mit einem Stock und Bedrohung durch Fischattrappen auch absichtlich zu Fluchtverhalten animiert. Als zusätzliche Motivation wurde den Flusskrebsen, die im Pool nicht gefüttert wurden, Katzenfutter auf der anderen Seite der Barriere angeboten, sowie eine Luftpumpe eingesetzt, die einen Sauerstoffgradienten und Wasserbewegung erzeugte. Trotz dieser Bemühungen und der hohen Dichte von Tieren im Pool gelangte nach Entfernung der Klebeband-Nähte kein Signalkrebs mehr über die Barriere. Spontanes Schwimmverhalten wurde gar nicht gezeigt. Manipulationen führten zwar zu Fluchtreflexen, bei denen die Tiere sich auch in die Wassersäule beförderten, doch waren diese Reaktionen stets nur von kurzer Dauer (Ellis 2005).

Laut Wine und Krasne (1972), Webb (1979), Holdich und Reeve (1988) und Holdich (2002) wird der Schwimmreflex eines Flusskrebses durch einen anterioren visuellen Stimulus ausgelöst und nur selten und dann sehr kurz spontan gezeigt (Light 2002), was sich mit Ellis' Befunden deckt. Webb (1979) ermittelte erreichbare Schwimmgeschwindigkeiten von Roten Amerikanischen Sumpfkrebsen (*Procambarus clarkii*, Girard) zwischen 0,4 und 0,8 m/s. Die Tiere schwammen in seiner Studie aber niemals länger als 1 s mit dieser hohen Geschwindigkeit, was für die Überwindung einer Barriere nicht ausreichen würde.

1.4 Aufgabenstellung

Der Signalkrebs und andere nicht heimische Flusskrebsarten stellen die größte Bedrohung für heimische Flusskrebsarten dar. Die Wasserrahmenrichtlinie, die unter anderem eine bessere Durchgängigkeit für Fließgewässer fordert, wird dieses Problem trotz der ansonsten sicherlich positiven Auswirkungen noch verschärfen.

Bisherige Befunde aus der Forschung haben gezeigt, dass:

- eine Barriere über eine absolut glatte Oberfläche verfügen muss, um Flusskrebse zurück zu halten
- wirksame Flusskrebsbarrieren meist auch Fische an der Wanderung hindern
- selektive Barrieren mit vertikalen Wänden zwar Freiwasserfischen die Überwindung

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung ermöglichen, für Bodenfische aber doch zumindest eine Verhaltensbarriere darstellen

- Flusskrebse Schwimmverhalten nur selten ohne direkte äußere Einwirkung zeigen und dieses nicht aktiv nutzen, um Barrieren zu überwinden

Im Rahmen dieser Arbeit sollte noch keine einbaufertige Barriere entwickelt werden. Vielmehr ging es darum, bereits einen groben Zusammenhang zwischen dem Neigungswinkel einer glatten Barrierenplatte und der am Einbauort vorherrschenden Fließgeschwindigkeit zu ermitteln, um so den Sperrenneigungswinkel möglichst gering zu halten, was wiederum die Überwindbarkeit für Bodenfische erhöhen sollte. Die daraus entstehenden Kenntnisse könnten dann im Nachhinein für eine Weiterentwicklung dieses Barrierentyps im Sinne des Edelkrebsprojekts NRW und der Wasserrahmenrichtlinie genutzt werden, um eine Kombination aus größtmöglicher Durchgängigkeit und Schutz der heimischen Flusskrebsarten zu gewährleisten.

Des Weiteren sollte der Einfluss der Rauheit einer Sperrenplatte untersucht werden, um Voraussagen über die Folgen einer Sperrenverschmutzung treffen zu können, wie sie im Freilandgebrauch ohne Zweifel auftreten wird.

Zusätzlich sollte das Verhalten der Tiere bei der Sperrenüberwindung beobachtet werden. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf dem möglichen Auftreten von gerichtetem Schwimmverhalten. Aber auch andere Verhaltensstrategien der Krebse sollten erfasst werden, um letztlich ihre allgemeine Leistungsfähigkeit beim Überwinden von Hindernissen zu bewerten.

Nach Sichtung bereits vorhandener Ergebnisse aus anderen Studien und den eigenen Überlegungen zum Versuchsprinzip ergaben sich die folgenden Hypothesen, die es in den Versuchsreihen zu überprüfen galt:

- a) Es existiert eine Korrelation zwischen dem benötigten Neigungswinkel einer glatten Barriere, um Krebse zurück zu halten, und der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten und damit höherem Gegendruck für die Tiere, wird ein kleinerer Winkel notwendig sein, als bei niedrigeren Fließgeschwindigkeiten. Hierbei ist ein grober Wert vorhersagbar.
- b) Bei Aufrauung der Sperrenplatte verschiebt sich dieser Zusammenhang zugunsten der Krebse. Wenn sie mehr Halt finden, werden sie auch höhere Winkel und höhere Strömungsgeschwindigkeiten bewältigen können.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Einleitung

- c) Flusskrebse schwimmen nicht gezielt und nicht ohne äußere Einwirkung über Barrieren.

Auf den erhaltenen Daten sollen anschließend weitere Versuche gründen, die die Sperrenüberwindbarkeit für Fische überprüfen und die Konstruktion für den Einsatz in der Praxis weiter entwickeln werden.

2. Material und Methode

2.1 Grundidee

Die Grundidee, die sich zur Lösung des Konflikts zwischen erforderlicher Durchgängigkeit von Fließgewässern für Fische und der daraus resultierenden Gefährdung heimischer Flusskrebse durch Fremdarten manifestierte, war die Konstruktion einer Barriere mit glatter Oberfläche, die nicht im 90°-Winkel als unüberwindbare Wand, sondern in einem möglichst flachen Winkel gegen die Strömungsrichtung eingebaut, das Überklettern durch Flusskrebse gerade noch verhindern, das Überschwimmen durch Fische – auch Bodenfische wie der bereits erwähnten Groppe – aber noch zulassen sollte. Während sich 90°-Winkel bereits als Verhaltensbarrieren für ein Überschwimmen durch Groppen erwiesen hatten (Ellis 2005), könnte ein flacherer Winkel die Fische ähnlich einer Schanze sanfter über die Barriere leiten.

Es war offensichtlich, dass hier die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers über der Barriere eine entscheidende Rolle spielte, da diese letztlich den Widerstand für die Krebse darstellte, gegen den sie ankämpfen mussten, ohne Halt am Untergrund zu finden. Eine höhere Strömungsgeschwindigkeit würde mit großer Wahrscheinlichkeit eine Sperre mit geringerer Neigung erfordern, da hier der von den Tieren erlebte Gegendruck bereits für den Rückhalt ausreichend sein könnte. Da der Einbau der fertigen Sperre in einer künstlichen Fischtreppe und nicht etwa in einem natürlichen Bach- oder Flussbett erfolgen soll, konnte davon ausgegangen werden, dass in solch einer künstlichen Umgebung Faktoren wie Fließgeschwindigkeit und Durchfluss relativ gut überwacht und konstant gehalten werden könnten.

Somit galt es, bei unterschiedlichen Strömungsgeschwindigkeiten unterschiedliche Barrierenneigungen zu testen, indem man im Tierversuch unter festgelegten Bedingungen das Verhalten von Flusskrebsen – insbesondere ihre Fähigkeit, die Sperre zu überwinden - an den Barrieren beobachtete.

Abbildung 9 zeigt eine vereinfachte Skizze des Versuchsaufbaus.

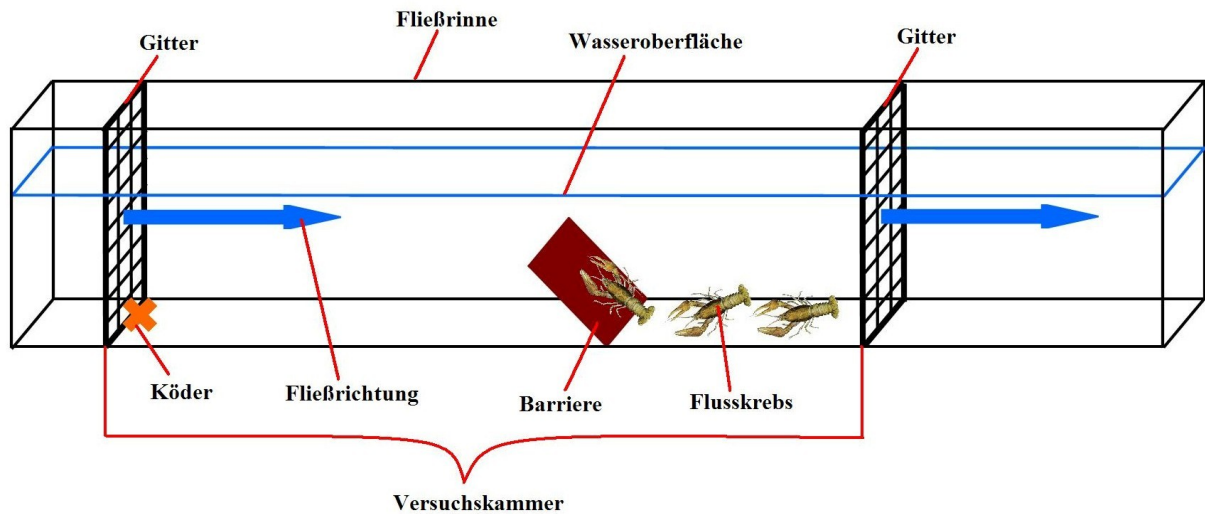


Abbildung 9: Skizze des Versuchsaufbaus (vereinfacht)

2.2 Versuchsaufbau

2.2.1 Die Fließrinne

Wie bereits erwähnt, fanden die Versuche in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl und Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft (IWW) der RWTH Aachen statt, wodurch es möglich wurde, Krebsbarrieren in einer 30 m langen Fließrinne bei konstanten Strömungsverhältnissen zu testen. Diese Kipprinne bestand aus einem mit Glasfenstern versehenen Stahlgerüst, welches ein Beobachten der Tiere auch unterhalb der Wasseroberfläche ermöglichte. Der Wasserfluss wurde durch mehrere Umlaufpumpen mit einer potenziellen Gesamtleistung von bis zu 600 l/s aufrecht erhalten. Während der Versuche wurden allerdings nicht alle Pumpen benötigt, da das Erreichen eines so großen Abflusswerts nicht erforderlich war. Das Wasser wurde zunächst an einem Ende der Rinne eingepumpt und entwich über ein verstellbares Wehr am anderen Ende, über welches auch der Wasserstand reguliert werden konnte. Durch das Herabstürzen des Wassers über das Wehr wurde gleichzeitig eine außerordentlich gute Sauerstoffanreicherung desselben gewährleistet. Das abfließende Rinnenwasser strömte in eine zweite Rinne unterhalb der Versuchsrinne und dort wieder zurück zu den Pumpen, über die es dann wieder nach oben befördert wurde. Breite und Höhe der Rinne betragen jeweils 1 m, womit sie ein Fassungsvermögen von 30.000 l aufwies.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Der Rinnenboden wurde vollständig mit 1,5 cm dicken PVC-Platten ausgelegt, um überall gleiche Strömungsverhältnisse zu gewährleisten. Das Einkleben erfolgte mittels Silikon. Auf dieser PVC-Grundierung entstand dann der eigentliche Versuchsaufbau innerhalb der Rinne. Die Möglichkeit die Rinne zu kippen, wurde nicht genutzt, um die einzustellenden Parameter möglichst übersichtlich zu halten. Alle Versuche wurden bei 0° Rinnenneigung durchgeführt. Die Fließgeschwindigkeit wurde somit lediglich über die Pumpenleistung beziehungsweise den Abfluss eingestellt.

2.2.2 Versuchskammern

Durch Kunststoffgitter mit einer Maschenweite von 2,25 x 2,25 cm wurden zunächst zwei Versuchskammern voneinander und dem restlichen Rinnenvolumen abgetrennt. Bei den Gittern handelte es sich um 1 x 1 m große Bodenroste für die Geflügelhaltung der Firma Sollfrank KG. Das gesamte Versuchsareal innerhalb der Rinne erstreckte sich über 6,18 m und begann 7,90 m vom Rinnenanfang entfernt. Auf jede der beiden Versuchskammern entfielen dabei 3 m Rinnenlänge mit einem 18 cm breiten Zwischenraum zwischen Kammer 1 und 2. Die Gitter erstreckten sich über die gesamte Rinnenhöhe und -breite und wurden an ihrem oberen Rand durch ca. 15 cm breite Winkelbleche gegen ein Überklettern durch Krebse geschützt. Nach ihrer Position wurden die Kammern und darin enthaltenen Sperren mit den Nummern 1 und 2 belegt, wobei Kammer 1 näher am Rinnenanfang lag.

Innerhalb der 3 m langen Versuchskammern wurden die Barrieren jeweils so auf der Sohle montiert, dass diese in einen 2 m langen Abschnitt auf der strömungszugewandten Seite und eine 1 m lange Startkammer auf der strömungsabgewandten Seite unterteilt wurde. Die Krebse würden dabei also ausgehend von der 1 m² großen Startfläche stromaufwärts zu wandern versuchen.

Der Boden der Startkammer wurde vollständig mit einer dreidimensionalen Erosionsschutz-Krallmatte aus verwobenen Kunststofffasern ausgelegt, um den Tieren Halt zu gewähren und ein natürliches Bachbett zu simulieren (siehe Abbildung 10). Verstecke standen allerdings nicht zur Verfügung, um die Motivation, die Startkammer zu verlassen und die Barriere zu überwinden ausreichend groß zu erhalten.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode



Abbildung 10: Signalkrebse auf Krallmatte innerhalb des Startbereichs

Die 2 m lange Fläche oberhalb der Barriere wurde nicht weiter verändert, da es nach einem erfolgreichen Überwinden der Sperre irrelevant war, ob die Tiere auf dem glatten PVC-Boden noch weiter wandern konnten oder nicht.

Zur besonderen Motivation sollten später Köder oberhalb der Sperre eingebracht werden. Am stromaufwärts gelegenen Gitter – 2 m von der Sperre und der dahinter gelegenen Startfläche - wurde daher mit Kabelbinder ein Köderkorbchen angebracht, wie es auch in Krebsreusen verwendet wird (siehe Abbildung 11).

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode



Abbildung 11: Köderkörbchen am oberhalb der Sperre gelegenen Gitter

Alle Materialien wurden entweder eingeschraubt (Trennwände, Sperren) oder mit Silikon eingeklebt (PVC-Boden, Krallmatten, zusätzliche Dichtungen an Sperrenrändern - siehe unten). Dabei wurde darauf geachtet, keine Materialien zu verwenden, die Giftstoffe ins Wasser abgeben und so den Gesundheitszustand oder das Verhalten der Tiere beeinflussen könnten. Abbildung 12 zeigt den Startbereich einer Versuchskammer mit Barriere, Krallmatte und Trenngitter.

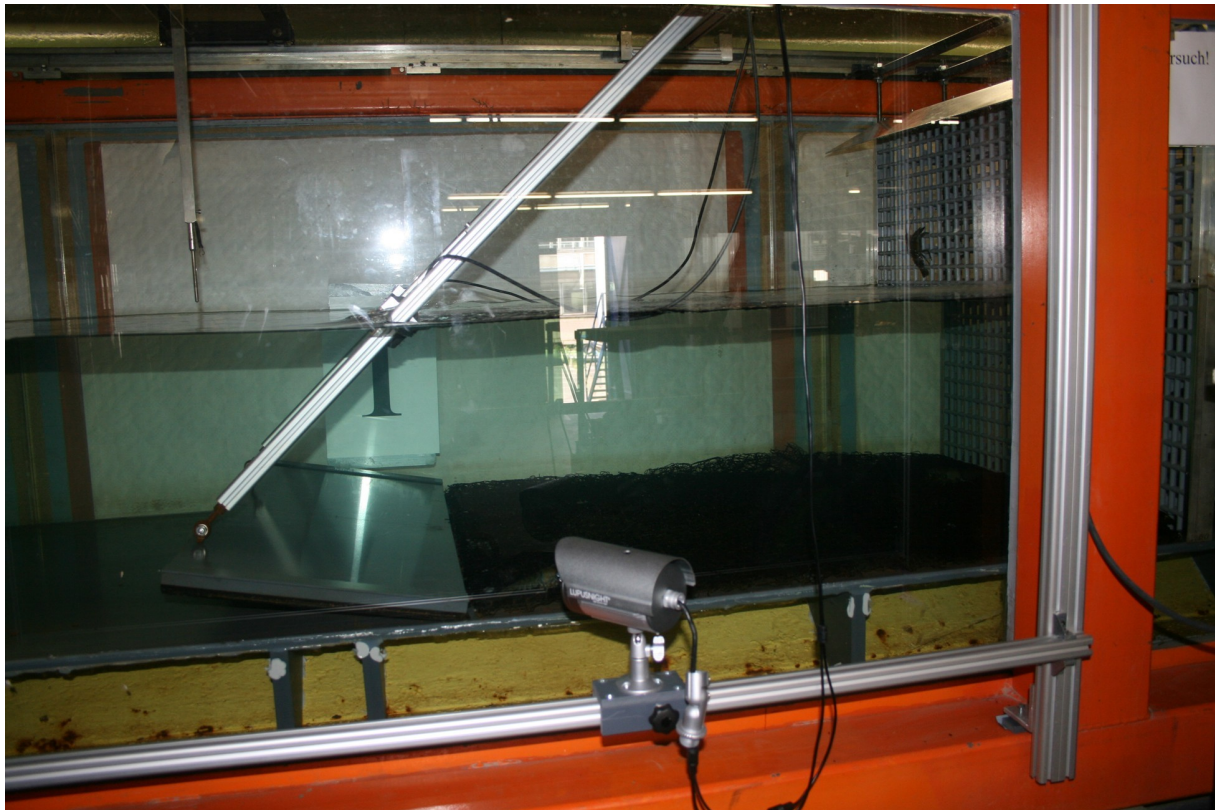


Abbildung 12: Startbereich einer Versuchskammer

2.2.3 Die Barrieren

Pro Versuchskammer wurde eine Barriere installiert. Diese wurden aus 1,5 cm dicken PVC-Platten ausgeschnitten. Ihre Höhe betrug 35 cm, die Breite 1 m. Während der ersten Versuche wurde dabei festgestellt, dass die Krebse den winzigen Randspalt, der zwischen Rinnenwand und Sperre entstand, zum Überklettern nutzen konnten. Dies wurde im weiteren Verlauf durch 0,3 cm dicke und 3 cm breite PVC-Leisten korrigiert, von denen jeweils eine an jeder Seite der Sperre auf diese aufgeschraubt wurde. Die Bohrungen wurden dabei so gefertigt, dass man die dünnen Leisten durch Lockern der Schrauben dicht an den Rinnenrand schieben und dort fixieren konnte. Nach oben waren die Schrauben vollkommen plan, um den Tieren keine Kletterhilfen bereitzustellen. Ab Versuch 14 (siehe Anhang für Protokollbögen aller 20 Versuche) wurde mit den abgedichteten Sperrern gearbeitet.

Der Neigungswinkel der Sperrern konnte über einen verschiebbaren Rahmen aus

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Profilschienen der Firma Isel eingestellt werden. Die direkte Verbindung des Rahmens zur Sperre erfolgte über Augenschrauben an der strömungsabgewandten Seite an jeweils 2 Punkten, 18,3 cm vom Rinnenrand entfernt und unmittelbar (ca. 0,5 cm) unterhalb der Sperrenkante (siehe Abbildung 13). Eine weitere Profilschiene, die quer über die Rinne verlief, diente als Haltepunkt. Über Feststellschrauben konnte der daran anliegende Rahmen gelöst und verschoben werden (siehe Abbildung 14). Ein auf den zur Sperre führenden Profilen aufgeklebtes Maßband erlaubte das spätere Verstellen des Sperrenneigungswinkels ohne bei jedem Einstellen den Winkel neu messen zu müssen (Vorgehensweise siehe unten).

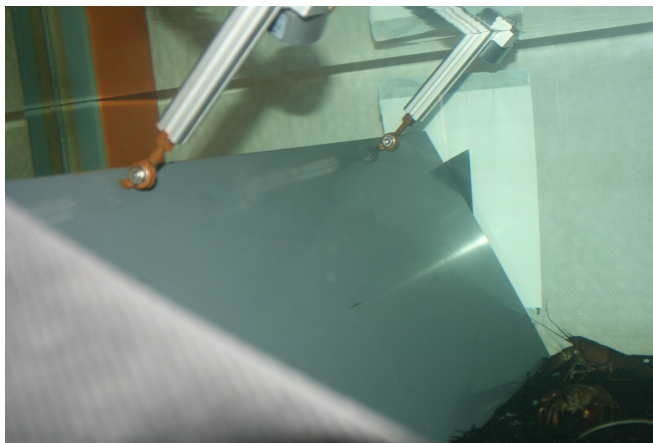


Abbildung 13: Verankerung der Profilschienen am Sperrenrand mit Augenschrauben



Abbildung 14: Profilschienen zur Einstellung der Sperrenneigung mit Skala und Feststellschraube

Am Boden wurden die Sperren von jeweils zwei kräftigen Metallscharnieren am PVC gehalten. Da es während der Versuche zu starken Wirbeln hinter der Sperre kam, wurden im weiteren Verlauf eine Gummileiste auf der strömungszugewandten Seite im Winkel am Boden eingebracht, durch die der schmale Spalt zwischen Sperre und Rinnensohle abgedichtet wurde. Auch die Spalten an den Seiten wurden auf diese Weise noch einmal mit einer

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Gummileiste abgedichtet, um auch hier die Bildung von Wirbeln zu vermeiden. Letztere bildeten sich im Nachhinein zwar dennoch, aber durch die Gummidichtungen konnte ausgeschlossen werden, dass sie durch Leckströme verursacht wurden. Da eine Sperre im späteren Feldeinsatz vollständig dicht sein würde, hätten solche Leckströme die Ergebnisse verfälschen können.

Die strömungsabgewandte – den Krebsen zugewandte – Seite der Sperre war vollkommen glatt, sowohl durch die Beschaffenheit des Materials als auch durch die Abdichtung an den Rändern. Die Verankerungen der Profilschienen und die zusätzlich angebrachten dünnen PVC-Leisten am Sperrenrand stellten zwar potentielle Kletterhilfen für die Tiere dar, wurden aber in den Versuchen nicht genutzt, beziehungsweise erwiesen sich als nutzlos, wenn Kletterversuche daran erfolgten.

Die Sperren wurden nach ihrer Position in Versuchskammer 1 (näher zum Rinnenanfang) und 2 als Sperre 1 und 2 benannt. Die Sperrennummer wurde zum Zwecke der Übersichtlichkeit auch noch einmal groß an der Scheibe der Rinne befestigt, um auf den entstehenden Videoaufnahmen, die während aller Versuchsreihen aufgezeichnet wurden, später eine eindeutige Identifizierung sicher zu stellen.

2.3 Die Versuchstiere

Da die Sperren zur Abwehr nicht heimischer Flusskrebarten Verwendung finden sollten, war es nahe liegend, auch im Versuch eine nicht heimische Art zu verwenden. Hier erwies sich das Problem der starken Verbreitung nicht heimischer Krebsarten in Deutschland als Vorteil, da man sich des oben beschriebenen Signalkrebsbestandes am Iterbach in Aachen-Walheim bedienen konnte.

2.3.1 Herkunft

Bei dem Abschnitt der Iter bei Aachen-Walheim, aus welchem die Versuchstiere entnommen wurden, handelte es sich um eine ca. 40 m lange Stauung des Baches hinter dem Durchfluss unter der Monschauer Straße, unmittelbar vor Eisenhütte. Wasserstand und

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Fließgeschwindigkeit in diesem Bachabschnitt konnten in Abhängigkeit von Niederschlagsmengen stark schwanken. So war nach mehreren starken Regengüssen die Fließgeschwindigkeit kaum mehr wahrnehmbar und das Wasser so trüb, dass man den Bodengrund in ca. 1 m Tiefe nicht mehr sehen konnte (eigene Beobachtung). Bei langen Trockenperioden kann der Wasserspiegel dagegen bis auf ca. 35 cm an der tiefsten Stelle absinken. Im Jahresdurchschnitt befand sich der Wasserstand etwas über Kniehöhe bei langsamer Strömung.

Das Wasser war – bis auf Hochwassersituationen – klar. Durch den langsamen Fluss innerhalb des gestauten Bereichs, sammelten sich Schwebstoffe, sowie Laub, Zweige und andere Abfallstoffe am Bodengrund.

Dies kann wohl als die Hauptnahrungsquelle der Signalkrebse angesehen werden. Daneben war auch tierische Nahrung erhältlich. Neben zahlreichen Insekten, Würmern und anderen Kleintieren kamen Bachforellen (*Salmo trutta fario*, Linnaeus) und Europäische Groppen (*Cottus gobio*, Linnaeus) vor.

Gleichzeitig war eine gute Sauerstoffversorgung des Bereichs sichergestellt, da in dem sehr flachen (ca. 10 cm), schnell fließenden Bereich der Iter oberhalb der Monschauer Straße eine starke Wasserbewegung und Sauerstoffanreicherung erfolgen konnte.

Der Bodengrund des Fangabschnitts bestand zum Großteil aus kopfgroßen Steinblöcken mit dazwischen gestreuten kleineren Sedimenten bis hin zu Sand. Das Ostufer war im Fangabschnitt durch eine grobe Kalksteinmauer befestigt, das Westufer grenzte an eine Rinderweide. Der restliche Uferbereich oberhalb des Fangabschnitts bis hin zur Monschauer Straße – ca. 130 m – war zum Großteil von Schwarzerlen (*Alnus glutinosa*, (Linné) Gaertner) bewachsen. Auffällig war ein stabiles Vorkommen Amerikanischer Sumpfbiber (*Myocastor coypus*, Molina) im Fangbereich – einer ebenfalls nicht heimischen Tierart.

Die genaue Temperatur des Gewässers wurde nicht gemessen. Es konnte aber davon ausgegangen werden, dass sich das Wasser im gestauten, weniger stark strömenden Bereich durch Sonneneinstrahlung stärker erwärmen würde, als in den schneller fließenden Bachabschnitten. Da dieser Abschnitt aber nicht sehr lang war und trotz der Stauung noch stark mit Frischwasser durchspült wurde, konnte davon ausgegangen werden, dass die Unterschiede zu den anderen Bachabschnitten nur gering waren. Zudem erstreckte sich die

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Signalkrebspopulation in unverminderter Dichte auch ober- und unterhalb des gestauten Bereichs. Letzterer wurde lediglich für die Entnahme der Tiere ausgewählt, da hier die Reusenbefischung einfacher und unauffälliger erfolgen konnte (siehe 2.3.2 Fang, Hälterung und Ernährung).

Während der Begehungen vor Ort zeigten die Tiere ausgeprägte Tagaktivität. Sowohl in schattigen, als auch direkt von der Sonne beschienenen Bereichen waren Individuen aller Altersklassen und Größen bei der Nahrungssuche zu beobachten. Die Populationsdichte war dabei dermaßen hoch, dass auch Revierkämpfe am helllichten Tag keine Ausnahme darstellten. Als Verstecke wurden Höhlen unter Steinen genutzt – wobei die Verteilung unterschiedlicher Blockgrößen sich als vorteilhaft erwies und jeder Altersklasse die nötigen Unterschlüpf bereitstellte. Des Weiteren wurden Höhlen innerhalb der Kalksteinmauer, zwischen Erlenwurzeln und unter abgelagertem Totholz genutzt.

2.3.2 Fang, Hälterung und Ernährung

Die Tiere wurden von einem ortsansässigen Fischereiberechtigten mit Hilfe von Kunststoffreusen gefangen, wie sie auch in Schweden zum traditionellen Krebsfang eingesetzt werden (siehe Abbildung 15). Als Köder kamen Stücke von Weißfisch zum Einsatz, die mittels einer Ködernadel innerhalb der Reuse befestigt wurden. Dieser Köder wurde gewählt, da er sich in der Vergangenheit als besonders fängig erwiesen hatte und zudem eine Nahrung darstellte, die die Krebse in ihrem natürlichen Habitat ebenfalls vorfinden konnten und somit gewöhnt waren.



Abbildung 15: Kunststoff-Reuse (<http://www.engelnetze.de/smart5/deu/fanggeraete-reusen-aalkoerbe-zugnetze-wurfnetze/225-krebs-und-plattfischkoerbe/krebsreuse-korb-aus-kunststoff-braun-der.html>)

Eine Fangperiode dauerte ca. 24 Stunden. Die Reusen wurden innerhalb des gestauten Bereichs der Iter gesetzt, da hier guter Zugang zum Ufer bestand und die Fanggeräte vollständig unter Wasser deponiert werden konnten. Da Krebshöhlen sowohl in der Bachmitte unter Steinen als auch in Nischen im Uferbereich befindlich waren, wurden die Reusen in beiden Bereichen ausgelegt.

Die Fangergebnisse waren ausgesprochen gut. Mit 5 Reusen wurden bei drei 24-stündigen Fangperioden 93, 123 und 128 Tiere aller Altersklassen gefangen. Eine solch große Menge an Tieren wurde zwar für die Versuche nicht benötigt, doch aufgrund der Maschenweite der in der Rinne installierten Gitter war eine Mindestgröße der Krebse von 9,5 cm erforderlich, um ein Entkommen aus den Versuchskammern zu verhindern, so dass von den gefangenen Exemplaren nur ein Teil verwendet werden konnte.

Nach dem Fang wurden die Tiere in zwei Halterbecken verteilt. Die großen Kunststoffbecken aus der Fischzucht hatten eine Grundfläche von 92 x 113 cm und eine Höhe von 58 cm. Sie wurden etwa 30 cm hoch mit Wasser befüllt. Als Verstecke dienten zusammengebundene Kunststoffrohre mit einem Durchmesser von 7 cm sowie leere Tonblumentöpfe. Für Sauerstoffversorgung und Reinigung des Wassers sorgte jeweils ein Eheim Powerline 2252 Innenfilter mit vorgeschaltetem O²-Diffusor und einer Pumpenleistung von 1200 l/h. Dabei mussten sowohl das Filterkabel, als auch der Luftschlauch durch ein am Beckenrand

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

befestigtes Brett gesichert werden, da die Tiere diese Möglichkeiten zum Klettern aus dem Becken nutzten. Für die Notfallversorgung standen auch noch zusätzliche Luftpumpen zur Verfügung. Der Sauerstoffgehalt in den Becken erwies sich jedoch auch bei hohem Besatz stets als ausreichend. Die Filter wurden einmal wöchentlich durch sorgsames Ausspülen der Filterschwämme gereinigt.

Die Futtermittellversorgung der Krebse bestand in erster Linie aus dem Krebsfutter JBL Novo Crabs und Frolic-Hundefutter. Zwischenzeitlich wurden gefrorene Wasserflöhe als Zusatzfutter gereicht. Die Fütterung erfolgte täglich, da die Versuche und die Hälterung im Hochsommer bei großer Hitze stattfanden und der Stoffwechsel der Tiere dadurch stark beschleunigt wurde.

2.3.3 Verbleib der Tiere

Tiere, die sich als zu klein erwiesen, weil sie durch die Maschen des Fischgitters entkommen konnten (alle Tiere unter 9,5 cm von der Spitze des Rostrums bis zum Ende des Schwanzes) wurden in sprudelnd kochendem Wasser fachgerecht abgetötet. Ebenso wurden am Ende der Versuche alle verbliebenen Tiere auf diese Weise getötet. Das Abkochen ist die humanste Methode, Flusskrebse zu töten. Dabei wurden die Tiere jeweils einzeln ins Kochwasser geworfen und darauf geachtet, dass vor jedem neuen Tier das Wasser wieder sprudelnd kochte, um den Tod so schnell wie möglich eintreten zu lassen.

2.4 Versuchsablauf

Der Grundaufbau bestand darin, die Signalkrebse direkt mit der Krepssperre zu konfrontieren und ihnen sowohl ausreichend Zeit als auch Motivation zu deren Überwindung bereit zu stellen. Dabei wurden die Tiere in die 1 m² große Startkammer gesetzt, von der aus sie dann über die Sperre in die dahinter liegende 2 m lange Köderzone wandern würden, wenn die Sperrenneigung sich als nicht ausreichend erwies. Insgesamt wurden 26 Versuche durchgeführt – jeweils unter Nutzung beider Versuchskammern.

2.4.1 Versuchsdauer

Als ausreichender Versuchszeitraum wurden 48 Stunden festgelegt, wobei darauf geachtet wurde, dass es sich dabei tatsächlich um zwei aufeinander folgende Tag- und Nachtphasen handelte. Das Licht in der Versuchshalle wurde zu diesem Zweck über Nacht – ca. 20:00h bis 07:00h – ausgeschaltet, was zu vollkommener Dunkelheit in der Rinne führte.

Wurde die Sperre nach 48 Stunden von keinem der Tiere überwunden, wurde der Versuch beendet und die Kombination aus Sperrenneigung und Strömungsgeschwindigkeit als wirksam betrachtet. Wenn sich Sperrenneigung und/oder Strömung als zu gering erwiesen und ein Tier die Sperre überwand, wurde der Versuch vorzeitig abgebrochen.

2.4.2 Lockmittel

Zur Motivation wurde in die beschriebenen Köderkörbchen oberhalb der Sperre Frolic-Hundefutter gegeben, was sich als sehr wirkungsvoll erwies. Bei zu geringen Sperrenneigungen, die den Krebsen eine Überwindung ermöglichten, wanderten sie umgehend zu den Körbchen und begannen, den Köder durch die Löcher heraus zu ziehen.

2.4.3 Videoüberwachung

Die Versuche wurden durch infrarotempfindliche Videokameras ununterbrochen überwacht. Dies ermöglichte eine genaue Dokumentation über den Erfolg und Misserfolg der einzelnen Sperrenparameter. Auch die Art und Weise, wie die Tiere die Sperre überwand, konnte so beurteilt werden. Des weiteren war es wichtig, ungültige Sperrenüberwindungen aufzudecken, wie sie beispielsweise durch ein Festklammern im Randspalt zwischen Sperre und Glas zustande kamen - eine Möglichkeit, die im endgültigen Sperreneinbau im Freiland nicht existieren würde und somit die Ergebnisse verfälscht hätte.

Die Kameras wurden jeweils außen an der Rinne auf einem Rahmen aus Isel Profilschienen montiert und so ausgerichtet, dass sie sämtliche Kanten der jeweiligen Sperre abbildeten, ohne tote Winkel zu erzeugen. Um Reflektionen der integrierten Infrarotstrahler auf der

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Glasscheibe zu verhindern, wurden die Kameras schräg zu letzterer positioniert. Zusätzlich zur Schwenkbarkeit des Kamerafußes ermöglichten die Profilschienen dabei ein Verschieben der Kameras parallel zur Rinnenscheibe. Abschließend wurde ein schwarzes, lichtundurchlässiges Tuch mit Metallzwingen über den Rahmen mit der Kamera gespannt, um Spiegelbilder auf der Glasscheibe – etwa von vorbei laufenden Personen – zu verhindern. Dieses Tuch erstreckte sich über die komplette Länge der Startkammer mit den Krebsen und verhinderte dadurch gleichzeitig auch Irritationen, die Bewegungen außerhalb der Rinne auf die Tiere hätten haben können (siehe Abbildung 16).

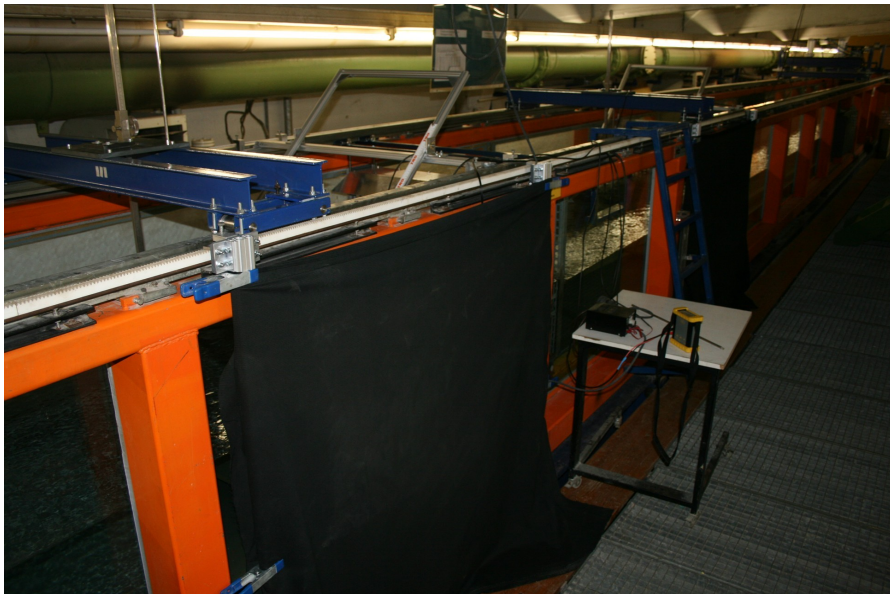


Abbildung 16: Mit schwarzem Tuch verhängter Bereich der Rinne auf Höhe einer Sperre

Zur Erhöhung des Kontrastes wurde die den Kameras gegenüberliegende Seite der Rinne von außen auf der kompletten Länge des Versuchsareals mit weißen Papierbahnen abgeklebt.

Es kamen zwei unterschiedliche Kameramodelle zum Einsatz. An Sperre 1 wurde eine Lupusnight – LE171N (im Folgenden “Kamera 1” genannt) der Firma Lupus installiert, an Sperre 2 eine Lupusnight – LE137 (“Kamera 2”) der gleichen Firma.

Bei Kamera 1 handelte es sich um ein etwas leistungsstärkeres Modell. Beide Geräte waren mit einem 1/3 “ CCD Sensor ausgestattet. Bei Kamera 1 war allerdings ein höher auflösender Sony Super-HAD CCD verarbeitet, der eine bessere Bildqualität gewährleistete. Das Gerät

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

wies mit dem besseren Sensor auch eine höhere Lichtempfindlichkeit von 0,06 LUX auf. Kamera 2 brachte es aber immer noch auf 0,4 LUX. Im Vergleich mit dem bloßen Auge erwiesen sich beide Kameras als ausreichend – bei Tageslicht sowie auch in völliger Dunkelheit. Beide verfügten über integrierte Infrarot-LEDs, wobei auch hier Kamera 1 mit 36 LEDs etwas leistungsstärker war als Kamera 2 mit 24 LEDs. Da die IR-Strahlung der Kameras jedoch sowohl die Glasscheibe der Rinne als auch das dahinter liegende Wasservolumen durchleuchten mussten, erwiesen sich beide Versionen als zu schwach und wurden im weiteren Verlauf durch zusätzlich installierte IR-Strahler unterstützt (siehe unten). Beide Kameras schalteten bei niedrigen Lichtwerten automatisch von Farb- auf IR-Betrieb um. Kamera 1 wies mit 4,3 mm Brennweite einen etwas geringeren Aufnahmewinkel von 78° auf als Kamera 2 mit einer Brennweite von 3,6 mm und somit 92,6°. Beide Deckungswinkel erwiesen sich als ausreichend. Die Kameras konnten problemlos so eingestellt werden, dass jeweils die gesamte Krebssperre abgebildet werden konnte.

Die Kamerabilder wurden durchgehend an einen AEON – LE800 Rekorder mit eingebauter 320GB Festplatte geleitet und dort abgespeichert. In der anschließenden Versuchsauswertung konnten die Aufzeichnungen im Schnelldurchlauf betrachtet werden.

Zur Unterstützung der IR-Strahler an den Kameras wurden bereits unmittelbar nach Beginn der Versuche pro Sperre zwei IR-Strahler SAL 10 der Firma B&S Technology mit einer Abstrahlleistung von 2000 mW und einem Abstrahlwinkel von 80° installiert. Die Strahler wurden direkt an die Profilschienen geschraubt, die auch für die Winkelverstellung der Sperren genutzt wurde – jeweils ein Strahler an eine der beiden unmittelbar an die Sperre anschließenden Schienen. Innerhalb der Profile konnten die Strahler je nach Wasserstand und Sperrenneigung an die bestmögliche Position geschoben und dort fixiert werden. Da die Dichtungen in den Strahlergehäusen sich als sehr gut erwiesen, wurden diese bei den Versuchen so montiert, dass die Glasfläche vor den LEDs gerade unter die Wasseroberfläche ragte, was zu wesentlich geringerer Streuung und besserer Beleuchtung führte, als wenn die Lichtstrahlen erst noch die Wasseroberfläche durchdringen mussten. Die Strahler wurden so ausgerichtet, dass sie genau die Sperrenkante beleuchteten.

2.4.4 Einsatz der Versuchstiere

Für die Versuche wurden pro Kammer jeweils 8 Tiere verwendet (siehe unten). Jedes Tier verblieb dabei maximal 48 Stunden in der Rinne und erhielt danach eine mindestens 48 Stunden lange Ruhephase, bei der auch ausreichende Nahrungsaufnahme sichergestellt wurde. Dies war insbesondere deshalb entscheidend, da die Tiere jeweils nur dann 48 Stunden in der Rinne verblieben, wenn sie nicht zuvor die Barriere überwandern und somit auch den Köder nicht erreichen konnten. Sie waren also gegen Ende eines Versuchs 48 Stunden ohne Nahrung gewesen. Zudem wies das Wasser in der Fließrinne stets hohe Temperaturen auf, was den Stoffwechsel der Krebse beschleunigte und damit die benötigte Futtermenge erhöhte.

2.5 Abiotische Messparameter und Einstellungen - Messgeräte

Bei den Versuchen wurden so viele Parameter wie möglich berücksichtigt. Grundsätzlich wurde vor Beginn eines Versuchs der Abfluss – die durchlaufende Wassermenge pro Sekunde – der eingestellte Winkel des Wehrs am Ende der Rinne und die Gesamtrinnenneigung eingestellt. An den Sperren wurde neben dem Neigungswinkel auch die daraus resultierende Höhe der Sperrenkante, sowie der Wasserstand auf Höhe der Kante gemessen und mit dem Wasserstand unterhalb des Versuchsaufbaus verglichen (über der Sperre war durch die Stauung eine Erhöhung des Wasserstandes zu erwarten). Des Weiteren wurden die Strömungsgeschwindigkeit über der Sperrenkante und die Wassertemperatur sowohl in der Rinne als auch im Hälterbecken der Tiere gemessen. Der Sauerstoffgehalt wurde während der Versuche zweimal gemessen – ebenfalls in der Rinne und im Hälterbecken.

Alle Messungen, bei denen eine genaue Positionierung des Messgerätes erforderlich war, wurden über Messwagen durchgeführt, die auf Traversierungen entlang des Rinnenrandes verschoben werden und am Punkt der Messung mit Zwingen fixiert werden konnten.

Zu den wichtigsten Messwerten zählten bei allen Versuchen die Sperrenneigung und die über der Sperre vorherrschende Fließgeschwindigkeit, da dies die Parameter waren, die in der Zukunft auch im praktischen Einsatz einer fischpassierbaren Krebs Sperre von der größten Bedeutung sein würden.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Zu jedem Versuch wurde ein im Vorhinein entwickelter Protokollbogen ausgefüllt, der alle hier beschriebenen Messparameter enthielt. Dieser befindet sich im Anhang.

2.5.1 Abfluss

Die Menge an Wasser, die pro Sekunde von den Pumpen in die Rinne befördert wurde, hatte natürlich den größten Einfluss auf die anschließend an den Sperren vorherrschende Fließgeschwindigkeit, welche wiederum den niedrigsten erforderlichen Winkel der Barrieren bestimmen würde. Daher wurde zu Beginn einer Messreihe zunächst stets der Abfluss eingestellt und konstant gehalten. Das bedeutete, dass bei unterschiedlichen Abflüssen unterschiedliche Sperrenneigungen getestet wurden. Die daraus resultierende Fließgeschwindigkeit unmittelbar über der Sperrenkante wurde dagegen nicht eingestellt sondern als Resultat der Parameter Abfluss und Sperrenneigung gemessen. Bei gleich bleibendem Abfluss nahm dabei die Strömungsgeschwindigkeit über der Sperre mit der Erhöhung deren Winkels zu, da der Strömungsquerschnitt des Wassers hier bei gleich bleibender Wassermenge verkleinert wurde. Dies lässt sich mit der Formel von Manning-Strickler – $Q=v \times A$ - erklären, wobei Q den Abfluss, v die durchschnittliche Fließgeschwindigkeit und A den Profilquerschnitt senkrecht zur Fließrichtung repräsentiert. Formt man diese Gleichung um, erhält man die Geschwindigkeit $v=Q/A$, woraus ersichtlich wird, dass ein verminderter Profilquerschnitt A zu höheren Fließgeschwindigkeiten führt.

Um eine grobe Tendenz des Zusammenhangs zwischen den Parametern Strömungsgeschwindigkeit/Sperrenneigung zu erkennen, wurde zunächst eine Messreihe bei einem geringen Abfluss von 35 l/s durchgeführt. Es wurden also bei diesem Abfluss alle Winkelstufen der Krebsbarrieren (siehe Kapitel „2.5.4 Neigungswinkel der Krebsbarrieren“) getestet, bis die Tiere einen Winkel nicht mehr überwinden konnten.

Im Anschluss erfolgte dann eine Messreihe mit einem sehr großen Abfluss von 135 bis 140 l/s.

Die Ergebnisse dieser ersten beiden orientierenden Messreihen konnten im Anschluss graphisch dargestellt werden. Dabei wurden die Ergebnisse beider Messreihen in einen Graphen übertragen, indem die Fließgeschwindigkeit U und der Neigungswinkel N

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

gegeneinander aufgetragen wurde. Durch Verbindung der beiden Punkte in beiden Messreihen, bei denen ein Überwinden der Sperre gerade nicht mehr möglich gewesen war, erhielt man eine Gerade, die bereits eine wahrscheinliche Korrelation zwischen U und N vorhersagen konnte. Anhand dieser Geraden wurden weitere, sinnvoll erscheinende Abflusswerte getestet, um den Verlauf genauer ermitteln zu können.

Insgesamt erfolgten Messreihen bei Abflusswerten von 35, 135-140, 56, 10, 160-170, 106-118 l/s (in chronologischer Abfolge). Die grob geschätzten Werte ergaben sich dabei aus der Tatsache, dass je nach Durchfluss eine Pumpe mit mehr oder weniger Leistung genutzt wurde. Die kleinere Pumpe (in den Versuchen bis 56 l/s) lieferte genaue Abflusswerte, während diese bei der größeren Pumpe nur grob angegeben werden konnten. Auch bei letzterer blieb der Durchfluss aber über die Messreihen hinweg gleich. Da für die angestrebten Wertepaare letztlich die Fließgeschwindigkeit über der Sperre und deren Winkel entscheidend waren, und diese genau gemessen werden konnte, konnte diese leichte Ungenauigkeit bei der Abflussangabe vernachlässigt werden.

Sechs verschiedene Abflüsse entsprachen also sechs Messreihen. Dabei wurde mit 35 und dann 135-170 l/s zunächst eine grobe Korrelation zwischen U und N erstellt. Mit 56 l/s etwa zwischen den beiden ersten Abflüssen gemessen und mit 10 und 160-170 l/s bei besonders niedrigem und besonders hohem Abfluss. Die Messreihe bei 106-118 l/s diente der genaueren Festlegung der wirksamen Wertepaare in einem kritischen Bereich, bei dem die Überwindung fraglich war.

2.5.2 Wehr / Wassertiefe Unterstrom

Über ein einstellbares Wehr am Ende der Rinne konnte der Wasserstand innerhalb reguliert werden. Ein steiler aufgestelltes Wehr erhöhte den Wasserstand, während es im abgekippten Zustand das Wasser ohne jegliche Stauung ablaufen lies.

Um den Krebsen – und theoretisch auch Fischen - ein Überwinden der Sperre zu ermöglichen (sofern diese nicht zu steil war), musste das Wehr jeweils so eingestellt werden, dass beim höchsten zu testenden Sperrenneigungswinkel einer Messreihe noch ausreichend Wasser über der Barriere vorhanden sein würde, um den Tieren beispielsweise auch das Überschwimmen

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

derselben zu ermöglichen – ein Faktor der eine entscheidende Rolle spielte (siehe Ergebnisse). Als ausreichend wurde ein Abstand von mindestens 10 cm zwischen Sperrkante und Wasseroberfläche festgelegt.

Der Wasserstand wurde stets an der gleichen Stelle in der Rinne unterhalb des Versuchsaufbaus, ca. 3 m vor dem Wehr gemessen. Im Versuchsaufbau selber entstanden durch Stauung an Gittern und Sperren natürlich andere Werte.

Tabelle 1 zeigt die eingestellten Neigungen des Wehrs bei den unterschiedlichen Abflusswerten der Messreihen und die daraus resultierenden Wasserstände unterhalb des Versuchsaufbaus. Leichte Schwankungen des Wasserstandes resultierten aus teilweise entstehenden zeitlichen Abständen zwischen den einzelnen Versuchen einer Messreihe, beispielsweise wenn ein Versuch im späteren Verlauf wiederholt wurde, weil die Videoaufzeichnung eine ungültige Überwindung der Sperre zeigte (z. B. Durch Festklammern am Randspalt, der im weiteren Verlauf abgedichtet und die betroffenen Versuche wiederholt wurden) oder weil eine Unterbrechung einer Messreihe über das Wochenende erforderlich wurde. Minimale Schwankungen in der Einstellung und Leistung der Pumpen, sowie Verdunstung von Rinnenwasser konnte dann zu einer leichten Veränderung des Wasserstandes führen.

Tabelle 1: Wehr-Neigungswinkel bei unterschiedlichen Abflusswerten und daraus resultierende Wasserstände unterhalb des Versuchsaufbaus

Abfluss (l/s)	Neigungswinkel Wehr (°)	Wassertiefe Unterstrom (cm)
10	48,00	43,48-43,50
35	37,20	36,00-36,30
56	33,20	36,25-37,30
106-118	26,00	31,40
135-140	27,00	33,70
160-170	25,40	33,10

Der mit steigendem Durchfluss absinkende erforderliche Neigungswinkel des Wehres resultierte aus den größeren Wassermengen und der dadurch höheren Fließgeschwindigkeit. Bereits ein weniger steiles Wehr führte hier zu einer ausreichend großen Stauung.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Man beachte weiterhin, dass bei höheren Abflüssen der Wasserstand nicht zwingend so hoch eingestellt werden musste, dass auch beim steilsten zu testenden Sperrenwinkel von 48° noch 10 cm Wassersäule über der Sperrenkante erhalten blieb, da bei höheren Durchflüssen und damit höheren Fließgeschwindigkeiten zu erwarten war, dass die Tiere schon bei geringeren Winkeln die Sperre aufgrund der hohen Gegenströmung nicht mehr würden überwinden können.

2.5.3 Rinnenneigung

Grundsätzlich bestand die Möglichkeit, die Fließrinne zu kippen, um höhere oder niedrigere Strömungsgeschwindigkeiten zu erhalten. Um die Anzahl der einzustellenden Parameter aber möglichst gering zu halten, wurde die Strömungsgeschwindigkeit in allen Versuchen ausschließlich über die Pumpenleistung (Abfluss) und die Wehrneigung (Wasserstand) geregelt. Die Rinnenneigung blieb bei 0° .

2.5.4 Neigungswinkel der Krebsbarrieren

Neigungswinkel der Krebsperren wurden stufenweise zwischen Werten von 0° und 48° in 8° -Schritten eingestellt. Daraus ergaben sich pro Messreihe also 7 verschiedene Winkeleinstellungen (0, 8, 16, 24, 32, 40 und 48°). Später wurden auch Zwischenstufen getestet, als gegen Ende der Versuchsreihen Überwindbarkeitsgrenzen genauer untersucht wurden. In jeder der beiden Versuchskammern wurde stets ein anderer Winkel gemessen, so dass pro Versuchsdurchlauf 2 verschiedene Winkel erprobt werden konnten.

Da die Sperren unter Wasser lagen, wäre es ungünstig gewesen den Winkel jedes Mal mit einem Winkelmesser einzustellen. Stattdessen wurde eine cm-Skala am Halterahmen der Sperren genutzt. Vor den Versuchen wurde jede zu testende Winkelstufe bei leerer Rinne einmal mit dem Winkelmesser ausgemessen und der entsprechende Wert auf der Skala notiert. So konnte man später den Sperrenneigungswinkel über die oberhalb der Sperre gelegene Skala einfach einstellen.

Im Folgenden wurde bei einem festgelegten Durchflusswert also eine Winkelstufe pro Sperre

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

und zwei Winkelstufen pro Versuch erprobt. Dabei wurde bei 0° begonnen und der Winkel dann jeweils um 8° erhöht, wenn die Sperre überwunden wurde. Wie Tabelle 2 zeigt, kam es hier bedingt durch eine Kalibrierung der Sperre nicht exakt zu den genannten Schritten, sondern die Werte konnten leicht abweichen. Nach dem Vermessen der Winkelstufen und dem Abgleich mit der Skala am Halterahmen wurden die erhaltenen Wertepaare mit einem Tabellenkalkulationsprogramm in einen Graphen übertragen und eine Trendlinie gezogen, um minimale Messfehler auszugleichen. Diese Trendlinie ergab für manche glatten Skala-Einstellungen leicht variierende Winkelstufen.

Tabelle 2: Getestete Sperrenneigungswinkel bei den verschiedenen Abflussklassen

Abfluss (l/s)	Sperrenneigungswinkelstufen (°)
10	24/24,3 32/32,4 40/39,6 48 56 64
35	1,0 8,4 17,1 25,0 32/33 40/40,3 47,8
56	-0,3 8,2 16 20 24,3/24,4 32,4
106-118	6 10
135-140	1,0 8,4
160-170	0 12

Bei größeren Abflusswerten wurden weniger Winkelstufen getestet, da dort bereits ab

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

niedrigen Neigungen ein Überwinden der Sperre für die Tiere nicht mehr möglich war. Ebenso wurde bei sehr geringen Abflusswerten wie 10 l/s auf die niedrigsten Winkelstufen verzichtet, da diese bereits bei höheren Abflusswerten überwunden worden waren und kein Grund zu der Annahme bestand, dass die Tiere dies bei niedrigen Werten nicht schaffen sollten. Mit Schrägstrich getrennte Winkel wie z. B. 24,0°/24,3° bei einem Abfluss von 10 l kamen durch Wiederholungsversuche zustande, die durchgeführt wurden, wenn die Sperre „illegal“ durch Festklammern am Randspalt überwunden wurde. Beim Wiederholungsversuch war der Randspalt abgedichtet worden. Zwischenzeitlich hatte eine leichte Korrektur der Kalibrierung der Sperrenneigung stattgefunden und für den Wiederholungsversuch leicht unterschiedliche Neigungswerte ergeben.

Bei einem sehr geringen Abfluss von 10 l/s wurden zusätzlich Winkel von 56° und 64° getestet, die aber – wie alle Neigungen bei diesem Abflusswert – von den Tieren durch Festklammern im Randspalt überwunden wurden. Bei den anschließenden Wiederholungsversuchen wurden diese beiden Extremstufen nicht mit einbezogen, da eine Sperrenneigung von über 48° für die Überwindbarkeit der Sperre für Bodenfische nicht mehr erstrebenswert erschien.

Wenn dies möglich war, wurde darauf geachtet, an Sperre 1, die näher zum Rinnenanfang lag, den größeren der beiden Winkel einzustellen, da durch den größeren Winkel ein größerer Stauereffekt zu erwarten war. Hätte man den Winkel an Sperre 2 größer eingestellt, hätte diese Stauung Auswirkungen auf den davor liegenden Versuch in Sperre 1 haben können. Von dieser Regel wurde nur unter einer Voraussetzung Ausnahmen gemacht: Wurde in einem Versuch Sperre 2 überwunden, Sperre 1 jedoch nicht, wurde dennoch bei Sperre 2 der Winkel weiter erhöht, auch wenn er dann größer war als der Winkel der davor liegenden Barriere. Dabei wurden jedoch sämtliche Werte, die von der Stauung verändert werden konnten in Sperre 1 noch einmal geprüft (Strömungsgeschwindigkeit, Wasserstand). Durch dieses Vorgehen war es möglich, in der zweiten Versuchskammer bereits einen neuen Versuch zu starten, während dieser in Kammer 1 noch beendet werden konnte.

2.5.5 Höhe der Sperrenkante

Die Höhe der Sperrenkante ergab sich aus dem Neigungswinkel und wurde bei jedem Versuch mittels eines geeichten Stechpegels mit Nonius (0 cm auf der Rinnensohle), der auf einem Messwagen auf der Rinne montiert war, überprüft. Die Messlatte konnte mittels einer Feststellschraube millimetergenau höher und tiefer gedreht werden.

2.5.6 Wassertiefe auf Sperrenhöhe

Die genaue Wassertiefe exakt über der Sperrenkante wurde mit selbigem Stechpegel überprüft, der unter 2.5.5 erwähnt wurde. Hierzu wurde zunächst die Höhe der Sperrenkante genommen, indem die Stechpegelspitze exakt auf die höchste Stelle der Sperrenkante aufgesetzt wurde. Anschließend wurde der Pegel bei fixiertem Messwagen – um ein Verrutschen nach vorne oder hinten zu vermeiden – langsam hoch gezogen, bis die Spitze die Wasseroberfläche gerade noch berührte.

2.5.7 Strömungsgeschwindigkeit

Neben dem Sperrenneigungswinkel war die Strömungsgeschwindigkeit der wichtigste und interessanteste Faktor in den Versuchsreihen. Sie wurde bei jedem Versuch unmittelbar über der Sperrenkante gemessen. Hierzu wurde ein Messflügel an einer Stahlstange am Messwagen auf der Rinne befestigt und so weit abgesenkt, dass schließlich die Sperrenkante die Drehung des Propellers stoppte. Von hier aus wurde der Flügel wieder so weit angehoben, dass er gerade wieder frei drehen konnte. Jede Messung erfolgte dabei exakt in der Mitte der Rinne und der Sperre.

Verwendet wurde das Zählgerät Z400 von OTT für hydrometrische Messflügel. Über das Gerät wurde eine jeweilige Messzeit von 30 s festgelegt. Dabei wurden die Messimpulse – 1 Impuls pro Schaufelumdrehung – gezählt und automatisch in den entsprechenden Geschwindigkeitswert in m/s umgerechnet. Gemessen wurde mit einem Ottflügel 13558 der Größe 1.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Die Strömungsgeschwindigkeit wurde jeweils vor dem Versuch an jeder Sperre gemessen. Dabei ergaben höhere Winkel bei gleichen Abflusswerten höhere Fließgeschwindigkeiten, da der Strömungsquerschnitt durch die Sperrenhöhe verkleinert wurde (Formel siehe Kapitel „2.5.1 Abfluss“). Tabelle 3 zeigt einen Überblick der erhaltenen Geschwindigkeitswerte über der Sperre bei den unterschiedlichen Abflussklassen, Sperrenneigungswinkeln, daraus resultierenden Sperrenhöhen und dem Wasserstand an der Sperre. In dieser Tabelle wurden dabei immer nur die Versuche berücksichtigt, bei denen die Sperre tatsächlich wirksam oder unwirksam war. „Illegale“ Überwindungen aus vorausgegangenen Versuchen wurden nicht mehr berücksichtigt. Die in der Tabelle durch Schrägstrich getrennten Winkelwerte kommen hier daher nicht mehr vor, da nur noch der gültige Wiederholungsversuch gewertet wurde.

Tabelle 3: Fließgeschwindigkeiten unmittelbar über der Sperrenkante unter Einbezug von Abfluss, Sperrenneigungswinkel und Sperrenhöhe

Abfluss (l/s)	Sperrenneigung (°)	Höhe der Sperre (cm)	Wasserstand auf Sperrenhöhe (cm)	Fließgeschwindigkeit über der Sperre (m/s)
10	24	16,45	43,70	----
	32	20,10	43,19	----
	40	24,09	43,60	0,056
	48	27,42	43,80	0,070
35	1,0	2,39	36,15	0,098
	8,4	7,61	35,96	0,116
	17,1	12,60	36,27	0,151
	25,0	16,77	36,07	0,177
	32	20,40	36,63	0,263
	40	23,77	36,89	0,309
	47,8	27,00	37,10	0,383
56	-0,3	2,42	38,14	0,273
	8,2	7,70	39,13	0,295
	16	12,00	38,21	0,348
	20	14,40	39,35	0,399
	24,3	16,37	38,20	0,437
	32,4	20,25	39,95	0,502
106-118	6	5,65	33,28	0,500
	10	8,72	36,80	0,462
135-140	1,0	2,42	35,82	0,480
	8,4	7,70	39,20	0,442
160-170	0	2,58	35,92	0,531
	12	10,08	40,20	0,567

Bei einem Abfluss von 10 l/s und Sperrenneigungswinkeln unter 40° war mit dem Ottflügel Nr. 1 keine Strömung über der Sperre detektierbar, da sie vernachlässigbar gering wurde.

2.5.8 Wassertemperatur

Zu Beginn eines jeden Versuchs wurde die Wassertemperatur sowohl in der Rinne als auch im Hälterbecken der Tiere gemessen, aus dem sie im Anschluss unmittelbar in die Rinne überführt wurden. Da die Versuche im Hochsommer durchgeführt wurden, wurden teilweise sehr hohe Temperaturen erreicht. Gemessen zu Beginn eines Versuchsdurchlaufs schwankten

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

diese in der Rinne zwischen 17,9 °C – unmittelbar nach einer vollständigen Erneuerung des Rinnenwassers - und 23,1 °C. Während der 48-stündigen Versuche erwärmte sich das Wasser dann aber auch aufgrund der Pumpen bis auf 28,9 °C. Da warmes Wasser naturgemäß weniger Sauerstoff aufnehmen kann als kaltes, lies dies eine Gefährdung der Versuchstiere vermuten. Sauerstoffmessungen ergaben jedoch einen mehr als ausreichenden O₂-Gehalt, sowohl in der Rinne als auch im Hälterbecken. In letzterem schwankte die Temperatur über den kompletten Versuchszeitraum zwischen 21,1 °C und 26,5 °C.

Es wurde über den gesamten Zeitraum keine negative Beeinflussung des Verhaltens der Tiere durch Temperaturanstiege festgestellt. Im Gegenteil – die Krebse häuteten sich besonders häufig in der Rinne und zeigten eine hohe Aktivität. Da sich das Wasser von Beginn eines 48-Stunden-Versuchs bis zu dessen Ende sehr langsam erwärmte, konnten sie sich an die Änderung gewöhnen. Das Hauptproblem, das hohe Temperaturen im Freiland mit sich bringen – erniedrigter Sauerstoffgehalt durch schlechtere Löslichkeit des Wassers und Beschleunigung von O₂-verbrauchenden Stoffwechselprozessen – schien in der Rinne nicht aufzutreten (Begründung siehe „2.5.9 Sauerstoffgehalt“). Somit ist nicht auszuschließen, dass die Wassererwärmung sich sogar positiv auf das Verhalten und den Stoffwechsel der Tiere auswirkte.

Gemessen wurde die Temperatur mit einem elektrischen Thermometer mit einer Empfindlichkeit von 0,1 °C.

2.5.9 Sauerstoffgehalt

Über den vollständigen Versuchszeitraum wurde der Sauerstoffgehalt in Rinne und Hälterbecken zweimal mit jeweils unterschiedlichen Oximetern überprüft.

Die erste Messung erfolgte mit einem WTW Oxi Set 330i Messgerät und angeschlossener WTW Cell Ox 325 Messelektrode. Hierbei wurde in der Rinne bei einer Temperatur von 24,9 °C ein Sauerstoffgehalt von 96,15 % nachgewiesen. Im Hälterbecken ergab sich ein O₂-Gehalt von 90,65 % bei 24,2 °C.

Eine zweite Sauerstoffmessung erfolgte mit einem WTW Oxi 196, als in der Rinne die Temperatur auf 27,5 °C gestiegen war. Auch bei diesen hohen Temperaturen ergab sich jedoch

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

ein guter O₂-Gehalt des Rinnenwassers von 96 %.

Die Tatsache, dass die Erhöhung der Wassertemperatur keine bedrohlichen Sauerstoffwerte mit sich brachte, kann insbesondere durch die gute Durchlüftung des Wassers in der Rinne durch die Wasserbewegung an der Oberfläche und vor allem auch den Absturz über das Wehr erklärt werden. Außerdem fehlten in dieser künstlichen Umgebung organische Abfallstoffe, wie sie in natürlichen Gewässern vorkommen, deren beschleunigter Abbau bei hohen Temperaturen weiteren Sauerstoff verbraucht hätte. Der Sauerstoffverbrauch der 16 maximal in der Rinne befindlichen Krebse kann bei einem Wasservolumen von mindestens 9420 l (beim Versuch mit dem niedrigsten Wasserstand von 31,4 cm) wohl vernachlässigt werden.

2.6 Biotische Messparameter: Datenerfassung Versuchstiere - Verhaltensbiologie

Neben den eingestellten abiotischen Messparametern wurden natürlich auch Daten über die verwendeten Versuchstiere und deren Verhalten erhoben. Für jede Versuchskammer wurden pro Versuch 8 Tiere verwendet. Die Tiere wurden vor Versuchsbeginn vermessen und gewogen. Das Geschlecht wurde ebenso vermerkt wie Besonderheiten wie der Verlust von Gliedmaßen, Verletzungen und Häutungszustand. Ebenso wurde aufgezeichnet, wann die Tiere vor dem Versuch zuletzt gefüttert wurden und womit.

Besonderheiten, die während der Versuche auftraten, wurden ebenfalls vermerkt. Eine besondere Bedeutung kam dabei der abschließenden Verhaltensanalyse über die Videodaten zu, bei der insbesondere die Art und Weise der Sperrenüberwindung aufgeklärt wurde.

2.6.1 Geschlecht

Das Geschlecht wurde über das Fehlen oder Vorhandensein der Gonopoden der männlichen Tiere bestimmt. Es wurde angestrebt, die Verteilung männlicher und weiblicher Tiere möglichst gleichmäßig zu halten, was auf Grund der Fangergebnisse jedoch nicht immer möglich war. Zu dieser Jahreszeit ergab sich ein zunehmender Überschuss an Männchen, begründet durch die jahreszeitlich schwankende Aktivität beider Geschlechter.

2.6.2 Länge

Die Länge der Tiere wurde gemessen von der Spitze des Rostrums bis zum Schwanzende. Dazu wurden die Tiere einzeln gegen mit dem Bauch gegen die Seitenkante eines Aluminium-Lineals gedrückt, so dass sie den Schwanz nicht mehr unter den Bauch klappen konnten. Es wurden nur Tiere mit einer Körperlänge von mindestens 9,5 cm verwendet, nachdem ein kleineres Tier von 9 cm einmal durch eines der Absperrgitter entkommen war. Insgesamt wurden Tiere mit Körperlängen bis zu 13 cm verwendet.

2.6.3 Gewicht

Jedes Tier wurde vor dem Versuch mit einer Waage mit einer Empfindlichkeit von 0,1 g gewogen. Dabei ergaben sich Gewichte von 25,9 bis 112,8 g.

2.6.4 Dichte

Die Dichte der Flusskrebse wurde zweimal gemessen. Bei der ersten Messung wurden 7 Tiere in einen mit Wasser gefüllten Messzylinder gesetzt und aus der verdrängten Menge Wasser die Dichte errechnet. Diese betrug 1056,46 g/l. Bei der zweiten Messung wurden 24 Tiere in einen 10 l Behälter gegeben und auch hier die verdrängte Wassermenge gemessen. Bei dieser Messung ergab sich eine Dichte von 1323,67g/l. Bei beiden Messungen wurden Tiere diverser Altersklassen verwendet. Die genauen Werte der Dichtemessungen sind in Tabelle 4 zusammengefasst (errechnet nach der Formel zur Dichtebestimmung: Dichte $\rho = \text{Masse } m / \text{Volumen } V$). Schwankungen können durch unterschiedliche Anteile von Jungtieren und Adulten in den beiden Stichproben zustande kommen.

Tabelle 4: Dichte der Flusskrebse, erhalten bei zwei Messungen mit unterschiedlicher Anzahl von Tieren

Anzahl Tiere	Gewicht (g)	Verdrängtes Wasservolumen (ml)	Dichte der Krebse (g/l)
7	351,8	333	1056,46
24	821,6	621	1323,67

2.6.5 Ernährungszustand

Bei jedem Versuch wurde protokolliert, wie lange vorher die Tiere zuletzt gefüttert worden waren und womit. Sie wurden niemals unmittelbar vor Versuchsbeginn gefüttert, um die Motivation durch den Köder aufrecht zu erhalten, wurden aber auch nicht gezielt ausgehungert. Zu Versuchsbeginn lagen die jeweiligen Fütterungen zwischen 3,5 und 24,5 Stunden zurück. Dabei erhielten die Tiere im Hälterbecken meist Krebsfutter der Firma JBL, in der Rinne dagegen Frolic Hundefutter als Köder.

2.6.6 Besonderheiten

Als Besonderheiten der Tiere wurden fehlende Gliedmaßen, Verletzungen sowie der Häutungszustand protokolliert. Es wurde darauf geachtet, dass in jeder Versuchskammer pro Versuchsdurchlauf mindestens ein Tier mit einer fehlenden oder kleinwüchsigen Schere (längere Zeit nach dem Verlust) enthalten war, um den Einfluss einer solchen Behinderung auf die Überwindbarkeit der Sperre zu prüfen. Da abgetrennte Scheren durch Kämpfe oder Häutung relativ häufig sind, war dies problemlos realisierbar.

2.6.7 Verhaltensanalyse

Das Verhalten der Tiere wurde entweder direkt oder nachträglich über das Videoüberwachungssystem beobachtet und ausgewertet. Das allgemeine Verhalten wurde in erster Linie zur Feststellung des Wohlbefindens der Tiere kontrolliert. Diese zeigten unmittelbar nach dem Einsetzen in die Rinne sowie während der Nachtstunden eine erhöhte

Aktivität.

Neben dieser allgemeinen Beobachtung des Verhaltens fand nach jedem Versuch eine genaue Analyse der Sperrenüberwindung – falls es dazu gekommen war – statt. Dies diente nicht nur der Erfassung der Art der Überwindung für die Versuchsergebnisse und -auswertung, sondern auch der Vermeidung und Korrektur möglicher Problemstellen an den Sperren. So kam es beispielsweise während der ersten Versuche zu Sperrenüberwindungen, weil sich die Tiere in einem winzigen Randspalt zwischen Sperre und Glaswand der Rinne fest klammern konnten. Dieses Problem wurde nachträglich behoben und die beeinflussten Versuche wiederholt.

Eine verhaltensbiologische Frage, die besonders berücksichtigt werden sollte, war, ob die Tiere versuchen würden, die Sperre gezielt zu überschwimmen. Das Schwimmverhalten war bisher nur als Fluchtreflex beobachtet worden, niemals als Mittel zur gezielten Fortbewegung (siehe Einleitung). Daher war es interessant zu sehen, ob Flusskrebse ein solches Verhalten zur Überwindung der Sperre heranziehen würden, wenn ihre Kletterversuche erfolglos blieben.

2.7 Versuche zur Sperrenrauheit

Die Oberfläche einer Flusskrebssperre, die sich längere Zeit in einem Gewässer befindet, wird zweifelsohne von Algen und Schmutz bedeckt werden. Um den Einfluss eines solchen Biofilms zumindest in Ansätzen voraussagen zu können, wurden im Anschluss an die Versuche zum Sperrenneigungswinkel noch 6 Versuche gemacht, bei denen die Sperre künstlich aufgeraut wurde. Diese künstliche Aufrauung wurde durch das vollständige Bedecken der strömungsabgewandten Sperrenplatte inklusive der zusätzlichen PVC-Leisten am Rand mit Schmirgelpapier erreicht. Dazu wurde ein Schmirgelpapier der Körnung 100 mit einer Korngröße von 0,162 mm auf eine exakt zugeschnittene 3 mm dicke PVC-Platte aufgeklebt, welche dann auf die Sperre geschraubt wurde. Der Versuchsablauf entsprach ansonsten exakt dem der Vorgehensweise der vorangegangenen Versuche. Es wurden drei Abflussklassen und innerhalb dieser unterschiedliche Winkelstufen getestet, welche anhand der Ergebnisse der vorherigen Versuche mit großer Wahrscheinlichkeit für die Tiere nicht mehr überwindbar waren. Tabelle 5 zeigt die getesteten Sperrenneigungswinkel in den

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

einzelnen Abflussklassen und die daraus resultierenden Fließgeschwindigkeiten an der Sperrenkante.

Tabelle 5: Getestete Sperrenneigungen in drei Abflussklassen und entsprechende Strömungsgeschwindigkeiten bei aufgerauter Sperrenplatte

Abfluss (l/s)	Sperrenneigungswinkel (°)	Fließgeschwindigkeit an der Sperrenkante (m/s)
44,6	21,6	0,560
	24,0	0,525
	30,0	0,620
	32,0	0,470
	37,0	0,530
86,7	0,0	0,507
	0,3	0,595
105,4	0,0	0,712
	4,0	0,769
	16,0	0,718

2.8 Zusatzversuche zur Schwimgeschwindigkeit der Tiere

Ebenfalls an die Versuche zur Sperrenneigung anschließend, wurde noch ein Versuch zur Schwimgeschwindigkeit der Flusskrebse gemacht. Da diese die Sperre häufig durch Rückwärtsschwimmen gezielt überwandern, stellte sich die Frage, welche Geschwindigkeiten ein schwimmender Krebs erreichen könnte, um so eine grobe Voraussage zur benötigten Gegenströmung treffen zu können, ab welcher ein Überwinden der Sperre auf diese Weise nicht mehr möglich sein würde.

Zu diesem Zweck wurde zunächst ein großer Papierbogen mit Quer- und Längslinien im Abstand von 1 cm so überzogen, dass exakt 1 cm² große Karos entstanden. Darauf wurde ein leeres Glasaquarium mit einer Grundfläche von 60 x 40 cm positioniert und 4,5 cm hoch mit Wasser gefüllt, so dass das Liniennetz auf dem Boden noch deutlich sichtbar blieb. Eine Videokamera (Panasonic NV-GS27) wurde auf einem Stativ so darüber befestigt, dass sie senkrecht auf den Aquarienboden gerichtet war.

10 Flusskrebse unterschiedlicher Größen und Geschlechter wurden nacheinander in das Becken gesetzt und jeweils durch leichten Druck auf das Abdomen von oben mit einem

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse – Material und Methode

Aluminium-Lineal kurz auf den Boden gedrückt und dort fest gehalten. Wurde der Druck entfernt und das Tier entlassen, folgte als Reaktion häufig ein kurzes Rückwärtsschwimmen als Fluchtreflex.

Die Auswertung erfolgte am Computer über ein Videoprogramm. Die genannte Kamera wies eine Framerate von 25 Bildern pro Sekunde auf, so dass in der Videoaufnahme durch Springen von Frame zu Frame, die Zentimeterzahl errechnet werden konnte, die ein Krebs pro Sekunde schwimmend zurück legte.

3. Ergebnisse

3.1 Einfluss abiotischer Faktoren auf die Sperrenüberwindbarkeit

Zu den abiotischen Parametern, die sich auf die Sperrenüberwindbarkeit auswirkten, gehörten der Abfluss, der Neigungswinkel der Sperre und die Fließgeschwindigkeit unmittelbar über der Sperre. Parameter, die für die Beurteilung der Sperrenüberwindbarkeit von geringerer Bedeutung waren, werden im anschließenden Kapitel „3.2 Weitere abiotische Faktoren“ erläutert. Ebenso werden ungültige Versuche, die später wiederholt wurden, weil die Sperrenüberwindung durch Festklammern im Randspalt erfolgte (siehe Kapitel „2.6.7 Verhaltensanalyse“), hier nicht berücksichtigt. Es wurden nur die Wiederholungsversuche gewertet, bei denen der Randspalt abgedichtet war und keinen Einfluss mehr hatte. Die ungültigen Versuche werden im Kapitel „3.3 Einfluss biotischer und verhaltensbiologischer Faktoren“ genauer behandelt.

3.1.1 Abfluss

Wie im Kapitel „2. Material und Methode“ bereits erläutert, wurden 6 verschiedene Abflusswerte getestet. Tabelle 6 zeigt die bei den unterschiedlichen Abflüssen eingestellten Neigungswinkel der Krebsbarrieren. Hierbei wurden jeweils nur die Werte der endgültigen Versuche berücksichtigt. Die Versuchs-ID bezeichnet die jeweilige Versuchsnummer, unter der der Versuch in den Versuchsprotokollbögen im Anhang zu finden ist. Die Zahl hinter dem Punkt gibt dabei jeweils die Nummer der Sperre an, an der der Versuch gewertet wurde. Wie daraus ersichtlich wird, erfolgten die Versuche nicht exakt in der angegebenen Reihenfolge (siehe hierzu Kapitel „2.5.1 Abfluss“). Zum Zwecke der Übersichtlichkeit werden in diesem Kapitel die Ergebnisse aber nach Abflussstärke sortiert besprochen. Die Winkelstufen, die bei dem jeweiligen Abfluss für die Tiere noch überwindbar waren, sind grün markiert, die wirksamen Winkel rot.

Tabelle 6: Getestete Sperrenneigungswinkel bei den verschiedenen Abflussklassen mit der jeweiligen Versuchs-ID (nur noch gültige Versuche)

Abfluss (l/s)	Sperrenneigungswinkelstufe n (°)	Versuchs-ID
10	24,0	15.2
	32,0	15.1
	40,0	16.2
	48,0	17.2
35	1,0	1.2
	8,4	1.1
	17,1	2.2
	25,0	2.1
	32,0	19.2
	40,0	19.1
	47,8	4.1
56	-0,3	7.2
	8,2	7.1
	16,0	18.2
	24,3	9.2
	32,4	9.1
106-118	6,0	20.2
	10,0	20.1
135-140	1,0	6.2
	8,4	6.1
160-170	0,0	14.2
	12,0	14.1

Bei einem Abfluss von 10 l/s konnten alle Winkelstufen von 0° bis 48° von den Tieren überwunden werden. Da die Tiere beim ersten Durchlauf alle Winkelstufen „illegal“ durch Festklammern im Spalt zwischen Rinnenwand und Barriere überwunden hatten, handelt es sich bei allen hier eingetragenen Versuchen um Wiederholungsversuche, bei denen der Randspalt abgedichtet worden war. Im ursprünglichen Durchlauf waren auch noch Winkelstufen von 56° und 64° bei diesem Abfluss getestet worden (siehe Versuch 12.2 und 13.1 im Anhang), die ebenfalls durch Festklammern im Randspalt überwunden wurden. Diese Versuche wurden im Anschluss nicht mehr wiederholt, da ein Winkel über 48° in Bezug auf die Überwindbarkeit durch Bodenfische nicht mehr erstrebenswert erschien.

Bei einem etwas höheren Abfluss von 35 l/s waren Neigungswinkel bis 32° für die Tiere noch überwindbar. Hier erwies sich der 40° Winkel als wirksamer Rückhalt.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse

Bei 56 l/s konnte die Messreihe bereits bei einer Sperrenneigung von 32° abgebrochen werden. Bei diesem Abflusswert war ein Zusatzversuch mit einer Neigung der Sperre von 20° als Zwischenschritt gestartet worden, wurde jedoch ohne eine Sperrenüberwindung abgebrochen, als klar wurde, dass die Tiere auch bei einem Winkel von 24,3° die Sperre noch überwinden konnten (siehe Versuch 18.1 im Anhang).

Die Versuche bei einem Abfluss von 106-118 l/s waren chronologisch die letzten Versuche, die durchgeführt wurden. Hier wurden nicht die üblichen 8°-Stufen getestet, sondern Zwischenschritte von 6° und 10° erprobt, die sich nach Abschluss der vorangegangenen Messreihen in einem kritischen Bereich der potenziellen Sperrenüberwindbarkeit befanden. Beide Winkel erwiesen sich bei diesem Abfluss als wirksam.

Bei Abflusswerten von 135-140 l/s (Versuch 6.2), gelang es einem Tier, sich bei flach auf dem Grund aufliegender Sperre (1°) an der Sperrenkante entlang rückwärts gegen die Strömung zu schieben. Es bestand daher der Verdacht, dass auch hier der Randspalt genutzt wurde (Abdichtung ab Versuch 14). Das betreffende Tier war allerdings in der Lage, sich auch hinter der Sperre auf dem glatten PVC-Boden in dem 90°-Winkel zwischen Rinnensohle und –wand weiter zu schieben – dem gleichen Untergrund, aus dem auch die Sperre bestand, hier aber ohne den Randspalt, da die PVC-Platten der Sohle mit Silikon an der Rinnenwand befestigt waren. Die zusätzliche Oberfläche und der damit zunehmende Haftungswiderstand für den Krebs im Winkel, schienen also bereits ausreichend für die Überwindbarkeit der Sperre zu sein. Zusätzlich könnte auch die Rückwärtsbewegung eine bessere Stromlinienförmigkeit des Tieres bewirkt haben. Die nächste Winkelstufe von 8,4° bei diesem Abfluss erwies sich dann jedoch schon als wirksam, um die Tiere zurück zu halten.

Beim höchsten getesteten Abfluss von 160 bis 170 l/s konnten die Krebse bereits die flach aufliegende Sperre (0°) nicht mehr überwinden. Der 12°-Winkel wurde parallel als Zwischenschritt getestet und erwies sich erwartungsgemäß ebenfalls als wirksam.

Abbildung 17 zeigt die Korrelation zwischen Abflusswerten und den dabei wirksamen Sperrenneigungswinkeln.

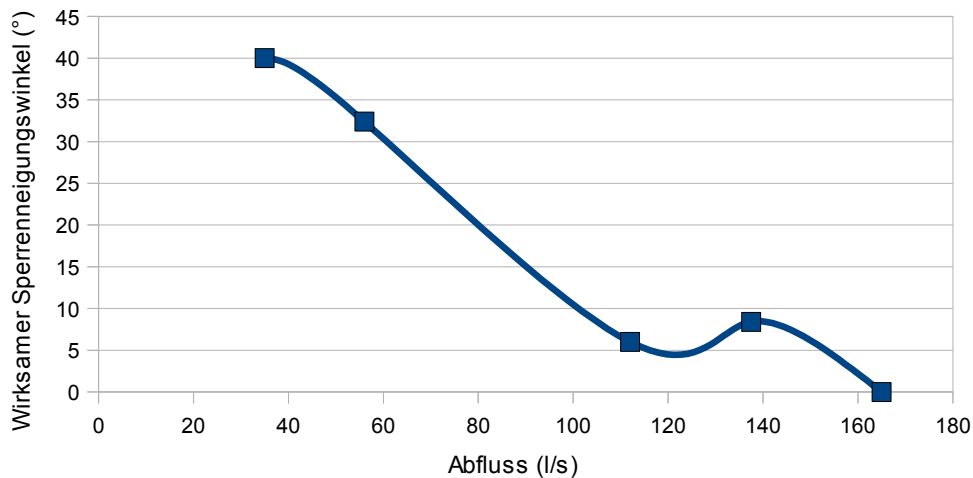


Abbildung 17: Korrelation zwischen Abfluss und wirksamer Sperrenneigung

3.1.2 Sperrenneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit

Die Parameter Sperrenneigung und Strömungsgeschwindigkeit waren die wichtigsten der gesamten Untersuchung. Die Fließgeschwindigkeit am Punkt der Sperreninstallation wird in der Praxis der entscheidende Faktor für die Auswahl eines bestimmten Sperrenwinkels sein. Die Fließgeschwindigkeit unmittelbar oberhalb der Sperre, wie sie im Versuch gemessen wurde, ist der entscheidende Gegendruck, mit dem die Krebse konfrontiert wurden und der auch später an einer installierten Sperre für Erfolg und Misserfolg selbiger entscheidend sein wird.

In den einzelnen Abflussklassen stieg die Fließgeschwindigkeit über der Sperre mit zunehmendem Sperrenneigungswinkel an, da eine höher aufgestellte Barriere den Strömungskanal stärker verengte als eine flachere Barriere (zur Berechnung der Fließgeschwindigkeit im Verhältnis zu Abfluss und Durchschnitt siehe Kapitel „2.5.1 Abfluss“).

Da der zum erfolgreichen Rückhalt von Flusskrebse erforderliche Sperrenneigungswinkel unmittelbar mit der an der Sperre vorherrschenden Fließgeschwindigkeit korreliert, werden beide Parameter hier in einem Kapitel behandelt.

Bei den sechs getesteten Abflussklassen kam es bei höheren Abflüssen natürlich auch zu höheren Fließgeschwindigkeiten am Sperrenrand. Tabelle 6 gibt einen ersten Überblick über die erreichten Strömungsgeschwindigkeiten bei verschiedenen Winkeleinstellungen in den

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse einzelnen Abflussklassen. Erfolgreiche Neigungswinkel sind hier wieder rot markiert. Die grünen Zahlen repräsentieren von den Krebsen überwundene Sperrenneigungen.

Tabelle 6: Fließgeschwindigkeiten gemessen unmittelbar über der Barriere in Korrelation zum Sperrenneigungswinkel bei den verschiedenen Abflussklassen (grün: Sperre überwunden, rot: Sperre wirksam)

Abfluss (l/s)	Sperrenneigungswinkel (°)	Fließgeschwindigkeit unmittelbar über der Sperre (m/s)
10	24,0	Nicht detektierbar
	32,0	Nicht detektierbar
	40,0	0,056
	48,0	0,070
35	1,0	0,098
	8,4	0,116
	17,1	0,151
	25,0	0,177
	32,0	0,263
	40,0	0,309
56	47,8	0,383
	-0,3	0,273
	8,2	0,295
	16,0	0,348
	24,3	0,437
106-118	32,4	0,502
	6,0	0,500
135-140	10,0	0,462
	1,0	0,480
160-170	8,4	0,442
	0,0	0,531
	12,0	0,567

Bei einem Abfluss von 10 l/s wurden Strömungsgeschwindigkeiten bis 0,070 m/s bei 48° Sperrenneigung am Sperrenrand gemessen. Dieser Geschwindigkeitswert erwies sich als nicht ausreichend, um die Krebse zurückzuhalten – zumindest nicht mit der angestrebten Maximalneigung der Sperre von 48°.

Betrag der Abfluss 35 l/s, wurden Geschwindigkeitswerte zwischen 0,098 m/s bei flach auf der Sohle aufliegender Sperrenplatte (1°) und 0,383 m/s bei einem Winkel von 47,8° erreicht.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse

Als wirksam erwies sich die Sperre hier bereits mit einem Neigungswinkel von 40° und einer entsprechenden Fließgeschwindigkeit am Sperrenrand von $0,309 \text{ m/s}$. Dieser Wert bezieht sich allerdings ausschließlich auf die Überwindbarkeit der Sperre durch ein Überklettern. Bis zu gewissen Strömungsgeschwindigkeiten waren die Tiere in der Lage, die Sperre zu überschwimmen (siehe Kapitel „3.3.2 Schwimmen / Rückstoß“). Während der Messreihe in dieser Abflussklasse wurde jedoch kein Schwimmversuch unternommen.

Bei Abflusswerten von 56 l/s kam es zu Fließgeschwindigkeiten von $0,273 \text{ m/s}$ bei flach aufliegender Sperre ($-0,3^\circ$) und $0,502 \text{ m/s}$ bei einer Neigung von $32,4^\circ$. Letzteres Wertepaar ergab sich auch als wirksam in Bezug auf den Rückhalt der Tiere.

In der Abflussklasse $106-118 \text{ l/s}$ wurden nur zwei Winkelstufen getestet: Bei 6° Sperrenneigung entwickelte sich hier eine Geschwindigkeit von $0,5 \text{ m/s}$ und bei 10° von $0,462 \text{ m/s}$. Die umgekehrte Korrelation zwischen Sperrenneigungswinkel und Geschwindigkeit – die Strömungsgeschwindigkeit war hier an der steileren Sperre niedriger – ist mit der starken Stauung des abfließenden Wassers durch die Trenngitter zu erklären – ein Effekt der ab dieser Abflussstärke, nicht jedoch bei niedrigeren Abflüssen entstand. An Sperre 1 (10°), die vom ankommenden Wasser zuerst durchflossen wurde, betrug der Wasserstand auf Höhe der Kante $36,8 \text{ cm}$, die Höhe der Sperrenkante selbst $8,72 \text{ cm}$, was eine über dem Sperrenrand verbleibende Wassersäule von $28,08 \text{ cm}$ ergab. An Sperre 2 (6°) dagegen betrug der Wasserstand auf Sperrenhöhe nur noch $33,28 \text{ cm}$, bei einer Kantenhöhe der Barriere von $5,65 \text{ cm}$. Die verbleibende Wassersäule darüber betrug hier also nur noch $27,63 \text{ cm}$ (vgl. Protokollbogen Versuch 20 im Anhang). Insbesondere das 18 cm breite Zwischenstück, das durch die Positionierung zweier Trenngitter in diesem Abstand zwischen den Versuchskammern gebildet wurde, staute das Wasser sehr stark, was zu einer Erhöhung des Pegels in Kammer 1 und zu einer Erniedrigung desselben in Kammer 2 führte (siehe Abbildung 18). Beide Winkel erwiesen sich bei diesen Fließgeschwindigkeiten als nicht überwindbar.



Abbildung 18: Stauwirkung am 18 cm breiten Zwischenstück zwischen Sperre 1 (links) und 2 (rechts)

Bei einem Abfluss von 135-140 l/s ergab sich dasselbe Phänomen wie in der vorherigen Klasse. Auch hier wurden zwei Winkelstufen – 1° und $8,4^\circ$ - getestet, wobei der größere wieder auf Sperre 1 – näher zum Rinnenanfang – eingestellt war. Durch Stauung ergab sich bei Sperre 1 ein Pegelstand von 39,2 cm über der Sperrenkante, die mit ihrer Höhe von 7,7 cm eine Wassersäule von 31,5 cm frei ließ. Sperre 2 dagegen wies eine darüber liegende Wassersäule von nur 33,4 cm auf (Höhe der Kante: 2,42 cm, Wasserstand darüber: 35,82 cm – vgl. Protokollbogen Versuch 6 im Anhang) – was wiederum in einer höheren Fließgeschwindigkeit über der flacheren Sperre resultierte. Die Krebse waren in der Lage, die flach aufliegende Sperre (1°) zu überwinden. Die $8,4^\circ$ -Sperre erwies sich bei der genannten Geschwindigkeit als wirksam.

In der höchsten Durchflussklasse von 160-170 l/s konnte bereits eine flach aufliegende Sperrenplatte (0°) nicht mehr überwunden werden. Hier wurde über der Sperre eine Fließgeschwindigkeit von 0,531 m/s gemessen. Der nächst höhere getestete Winkel von 12° erwies sich bei einer darüber gemessenen Geschwindigkeit von 0,567 m/s erwartungsgemäß ebenfalls als wirksam.

Abbildung 19 zeigt den Zusammenhang zwischen Sperrenneigung und der über der Sperre gemessenen Fließgeschwindigkeit. Dabei sind gelungene Überwindungsversuche wieder in

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse
 Grün gehalten, wirksame Kombinationen aus Winkel und Geschwindigkeit dagegen in Rot.

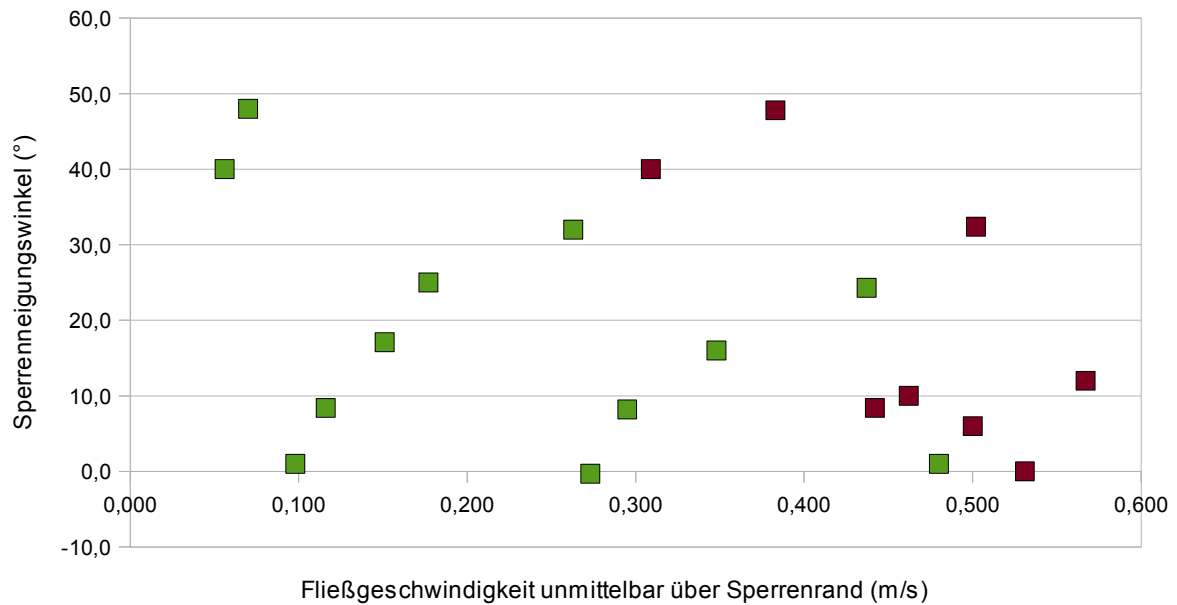


Abbildung 19: Korrelation von Sperrneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit am Sperrrenrand (grün: Sperre überwunden, rot: Sperre wirksam)

3.1.3 Sperrrenrauheit

Die sechs zusätzlichen Versuche zur Sperrrenrauheit, bei denen die Sperrrenplatte mit Schmirgelpapier bedeckt worden war, ergaben eine erhöhte Sperrrenüberwindbarkeit. Tabelle 7 fasst die Versuchsergebnisse zusammen.

Tabelle 7: Fließgeschwindigkeiten gemessen unmittelbar über der Barriere in Korrelation zum Sperrenneigungswinkel bei den verschiedenen Abflussklassen bei künstlich aufgerauter Barrierenoberfläche (grün: Sperre überwunden, rot: wirksame Winkelwerte)

Abfluss (l/s)	Sperrenneigungswinkel (°)	Fließgeschwindigkeit an der Sperrenkante (m/s)	Versuchs-ID
44,6	21,6	0,560	24.2
	24,0	0,525	24.1
	30,0	0,620	25.1
	32,0	0,470	26.2
	37,0	0,530	26.1
86,7	0,0	0,507	21.1
	0,3	0,595	21.2
105,4	0,0	0,712	22.2
	4,0	0,769	23.2
	16,0	0,718	22.1

Wurde den Tieren durch künstliche Aufrauung der Sperrenplatte mehr Halt geboten, konnten sie sowohl bei höheren Fließgeschwindigkeiten als auch bei höheren Neigungswinkeln der Sperre diese überwinden, als zuvor bei Versuchen mit glatter Sperrenplatte.

So konnte eine flach auf der Sohle aufliegende Platte noch bei dort vorherrschenden Fließgeschwindigkeiten von 0,507 m/s und 0,595 m/s bis hin zu 0,712 m/s überlaufen werden (siehe Versuche 21.1, 21.2 und 22.2 – Protokollbögen im Anhang). Bei den Versuchen mit glatter Sperrenwand, war dies bereits bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,531 m/s nicht mehr möglich gewesen (vgl. Versuch 14.2).

Auch höhere Neigungswinkel konnten über das Schmirgelpapier überwunden werden. Waren die Tiere bei Versuch 9.1 mit glatter Sperrenplatte an einem Neigungswinkel von 32,4° bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,502 m/s gescheitert, konnte der 32° Winkel bei aufgerauter Platte und einer Fließgeschwindigkeit von 0,470 m/s noch überwunden werden (siehe Versuch 26.2).

Die Fließgeschwindigkeit schien aber der bedeutendere Faktor bei aufgerauter Oberfläche der Sperre zu sein. Dies zeigte sich bei einem Abfluss von 44.6 l/s, als einstellungsbedingt einige Unregelmäßigkeiten in der Korrelation von Sperrenwinkel und Strömungsgeschwindigkeit auftraten. Hier scheiterten die Tiere an einem 21,6° Winkel bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,560 m/s, waren aber in der Lage, die nächst höhere Winkelstufe von 24° zu überwinden. Dies kann nur damit erklärt werden, dass hier eine

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse geringere Fließgeschwindigkeit von 0,525 m/s gemessen wurde. Ebenso erwies sich die 30° Barriere bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,620 m/s als wirksam, während 32° bei 0,470 m/s überklettert werden konnten.

In Abbildung 20 sind die Ergebnisse der Rauheitsversuche zusammen mit den vorangegangenen Versuchen graphisch dargestellt. Wertepaare, bei denen eine Überwindung möglich war, wurden grün markiert, wirksame Barrierenwerte rot. Dabei wurden die Versuche zur Rauheit heller hervorgehoben.

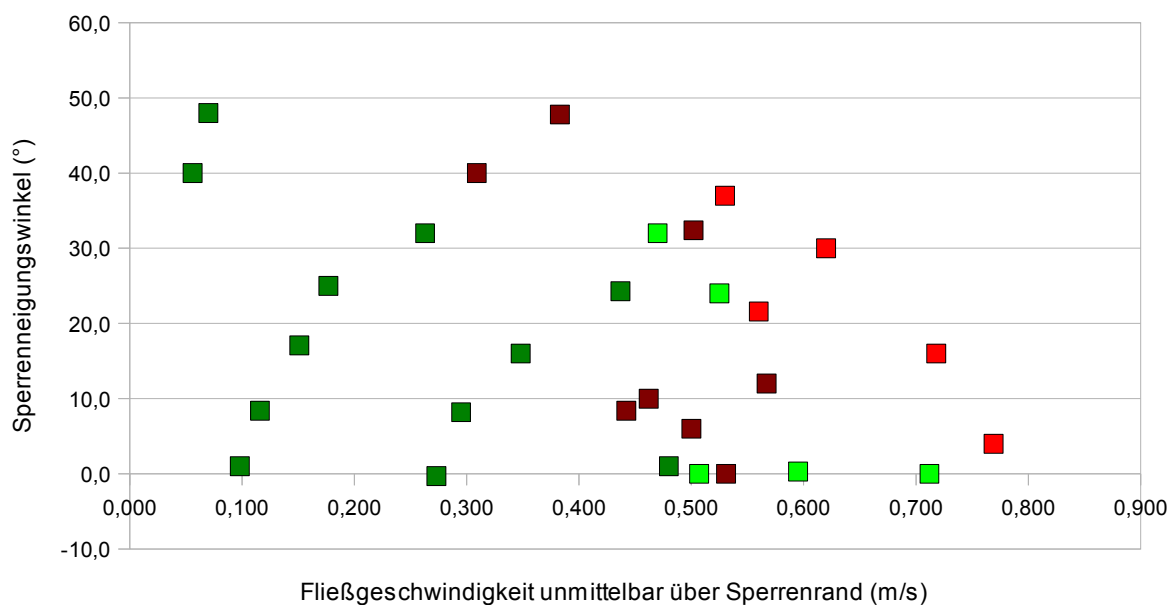


Abbildung 20: Korrelation von Sperrneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit am Sperrenrand (grün: Sperre überwunden, rot: Sperre wirksam – Versuche mit aufgerauter Sperrenplatte hell hervorgehoben)

3.2 Weitere abiotische Faktoren

Die oben genannten Faktoren hatten direkten Einfluss auf die Sperrenüberwindbarkeit. Weitere Faktoren, die einen geringeren Einfluss hatten oder im Versuch nicht weiter vertiefend untersucht wurden, werden in diesem Kapitel erläutert.

3.2.1 Wehr und Wasserstand, Höhe der Sperrenkante – Wassersäule

Wie bereits in Kapitel „2. Material und Methode“ erläutert, wurde über das am Rinnenende befindliche Wehr der Wasserstand so reguliert, das stets ausreichend Platz über der Sperre blieb, um Tieren – Krebsen im Versuch sowie Fischen in der Zukunft - ein Passieren derselben zu ermöglichen. Die Höhe dieser Wassersäule betrug bei Versuchen mit großem Sperrwinkel stets mindestens 10,1 cm (siehe Versuch 4.1 im Anhang – Sperrwinkel: 47,8°, Höhe der Kante: 27 cm, Wasserstand: 37,1 cm), bei flacher eingestellten Winkeln natürlich mehr, da Wehr und Wasserstand während einer Messreihe nicht verändert wurden. Wie im Kapitel „3.1.2 Sperrneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit“ erläutert, wirkte sich eine kleinere Wassersäule innerhalb einer Abflussklasse bzw. Messreihe steigend auf die über der Sperre vorherrschende Fließgeschwindigkeit aus. Abgesehen davon war ein direkter Einfluss auf die Tiere im Versuch nicht nachweisbar. Die Wassersäule war ausreichend groß.

3.2.2 Rinnenneigung

Die Rinnenneigung blieb bei 0°. Sie hatte somit keinen Einfluss auf den Ausgang der Versuche. Eine Veränderung hätte zu einer weiteren Erhöhung oder Erniedrigung der Fließgeschwindigkeit geführt, welche aber über die Pumpenleistung und das Wehr eingestellt wurde.

3.2.3 Wassertemperatur

Da die Versuche im Hochsommer stattfanden (Juli/August), wurden sowohl in der Fließrinne als auch in den Halterbecken oftmals hohe Temperaturen erreicht (vgl. Kapitel „2.5.8 Wassertemperatur“). Dies wirkte sich aber nicht negativ auf das Verhalten und/oder Wohlbefinden der Krebse aus. Im Gegenteil: Sie zeigten eine starke Aktivität.

3.2.4 Sauerstoffgehalt

Wie in Kapitel „2.5.9 Sauerstoffgehalt“ bereits beschrieben, war dieser stets mehr als

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse ausreichend (über 90 %) sowohl im Hälterbecken als auch in der Rinne. Mit dieser Tatsache ist auch zu erklären, dass erhöhte Wassertemperaturen keinen negativen Einfluss auf die Aktivität der Tiere hatten.

3.2.5 Bildung von Wirbeln

Ab einem Abfluss von 56 l/s waren auf der Sperre deutliche Verwirbelungen des Wasserstroms zu erkennen. Insbesondere durch rotierende Schmutzpartikel wurde dies sichtbar. Diese Wirbel schienen auch Einfluss auf das Verhalten der Krebse zu nehmen (siehe Kapitel „3.3.4 Bewegung in Strömungsrichtung“). Ein Abdichten von Spalten unter und an den Rändern der Sperren, stellte sicher, dass die Wirbel nicht durch Leckströme an diesen Punkten entstanden, die es an einer fest installierten Sperre in einer Fischtreppe nicht geben würde.

3.3 Einfluss biotischer und verhaltensbiologischer Faktoren

Aus verhaltensbiologischer Sicht ist zunächst einmal anzumerken, dass die Tiere sowohl den Versuchsaufbau als auch die Hälterungsbedingungen problemlos annahmen. Sowohl das angebotene Futter in den Hälterbecken als auch der Köder in der Rinne wurden sofort aufgenommen. Die Tiere häuteten sich regelmäßig und zeigten keine übermäßigen Fluchtreaktionen oder Stresssymptome während ihrer Handhabung.

Der wichtigste verhaltensbiologische Aspekt der Versuche war jedoch die Sperrenüberwindung. Neben der Frage *ob* eine Sperrereinstellung bei entsprechender Fließgeschwindigkeit wirksam war oder nicht, wurde auch überprüft *wie* es zu Überwindungen der Barriere kam. Dies geschah entweder sofort vor Ort oder im Anschluss an einen Versuch über das aufgenommene Videomaterial. Die Signalkrebse bedienten sich dabei unterschiedlicher Verhaltensstrategien. An erster Stelle stand hier das Überlaufen oder -klettern der Sperrenfläche, aber auch Schwimmversuche wurden beobachtet, sowie das Übereinanderklettern mehrerer Individuen mit Bildung einer „Räuberleiter“.

3.3.1 Klettern

Krebse bewegen sich am Gewässergrund laufend fort. So verhielt es sich auch während der Versuche. Nach dem Einsetzen der Tiere strebten diese meist sofort über den aufgerauten Untergrund der Krallmatte im Startareal laufend gegen die Strömung in Richtung Sperre. Auf dem glatten PVC der Sperrenplatte wurden die Laufversuche zunächst verlangsamt, da die Schreitbeine hier abrutschten. Die Tiere liefen daraufhin aber einfach weiter gegen die Rutschbewegung an, bis sie schließlich den Rand erreichten, wo sie sich zunächst mit den Scheren und dann auch den Schreitbeinen festklammern und hinüberziehen konnten.

3.3.2 Schwimmen/Rückstoß

In der Literatur wird das Schwimmverhalten von Flusskrebsen durch Rückstoß als Fluchreflex angegeben (Wine & Krasne 1972, Webb 1979, Holdich & Reeve 1988, Holdich 2002). Im Versuch wurde dieses Verhalten jedoch auch volitional und gerichtet eingesetzt, um über die Sperre zu schwimmen. Dazu kam es, wenn das oben beschriebene Anlaufen gegen die Sperrenwand längere Zeit erfolglos blieb. In diesem Fall drehten sich die Tiere schließlich mit dem Schwanz gegen die Strömung und beförderten sich mittels einiger Schwanzschläge unter den Bauch entweder direkt auf die andere Seite (siehe Abbildung 21) oder bis zum Sperrenrand, um sich dort fest zu klammern und auf die andere Seite zu schieben. In einem Fall bestand der Verdacht, dass auch der Halterahmen aus Profilschienen, über den der Sperrenwinkel eingestellt wurde, als Zwischenstation genutzt wurde. Bei diesem Versuch (Versuch 11.1 - Sperrenneigung: 48° , Strömungsgeschwindigkeit: 0,066 m/s), schwamm ein Tier in der Nacht parallel zur Sperrenkante in Richtung Wasseroberfläche. Wenig später war ein Schatten im Lichtfleck eines Infrarot-Strahlers auf der Sperrenplatte zu erkennen. Danach tauchte das Tier bereits auf der anderen Seite der Sperre auf. Es ist davon auszugehen, dass es von der Halteschiene ausgehend, weiter gegen die Strömung bis auf die andere Seite der Sperre schwamm.



Abbildung 21: Schwimmender Flusskreb bei erfolgreicher Barrierenüberwindung

Weitere Versuche, bei denen die Sperre erfolgreich überschwommen wurde, waren die Versuche 9.2, 16.2, 17.2 und 19.2. Bei Versuch 17.2 (Sperrenneigung: 48° , Strömungsgeschwindigkeit: $0,070 \text{ m/s}$) beförderte sich das Tier auf die Kante und schob sich dann auf die andere Seite. Bei Versuch 19.2 (Sperrenneigung: 32° , Strömungsgeschwindigkeit: $0,263 \text{ m/s}$) wurde die Sperre nachts zunächst von einem Tier direkt überschwommen. Unmittelbar danach beförderte sich ein weiteres Tier mittels Schwanzschlag zur Kante und schob sich hinüber. Bei den Versuchen 9.2 (Sperrenneigung: $24,3^\circ$, Strömungsgeschwindigkeit: $0,437 \text{ m/s}$) und 16.2 (Sperrenneigung: 40° , Strömungsgeschwindigkeit: $0,056 \text{ m/s}$) wurde die Sperre jeweils direkt überschwommen.

Tabelle 8 fasst die Daten der Versuche, bei denen die Sperre durch Schwimmverhalten überwunden wurde, noch einmal zusammen.

Tabelle 8: Daten der Versuche, bei denen die Barriere schwimmend überwunden wurde

Versuchs-ID	Sperrenneigung (°)	Strömungsgeschwindigkeit am Sperrenrand (m/s)	Dauer am Versuchs zum Auftreten des Schwimmverhaltens	des Verhalten bis detailliert
9.2	24,3	0,437	23:28:00	Direkt überschwommen
11.1	48	0,066	08:14:00	Schwimmen zur Querstrebe und von dort weiter
16.2	40	0,056	02:16:00	Direkt überschwommen
17.2	48	0,070	00:41:00	Rückstoß bis Kante, dann Schieben auf andere Seite
19.2	32	0,263	33:06:00	Direkt überschwommen + Rückstoß bis Kante und von dort weiter (2 Tiere)

Wie aus Tabelle 8 ersichtlich wird, dauerte es oft sehr lange, bis Schwimmverhalten gezeigt wurde, ohne dass die Tiere zuvor in der Lage gewesen waren, die Barriere kletternd zu überwinden.

Wenn es zum Überschwimmen der Barriere kam, beförderten die Tier sich beim direkten Überschwimmen zunächst bis dicht unter die Wasseroberfläche und schwammen dann mit dieser entgegen der Strömung über die Sperre, zu der ausreichend Platz blieb. Ein Erhöhen der Sperrenkante hätte hier keine Wirkung gezeigt. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass alle Sperrenneigungswinkel bei Fließgeschwindigkeiten unter der höchsten Geschwindigkeit, gegen die die Tiere noch anschwimmen konnten (0,437 m/s), theoretisch ebenfalls überwindbar gewesen wären. Abbildung 22 zeigt noch einmal die Ergebnisse der ersten 20 Versuche (ohne die Versuche zur Rauheit). Dabei wurden die Versuche, bei denen erfolgreich Schwimmverhalten gezeigt wurde, blau markiert. Die beiden überlappenden Punkte bei 48° Sperrenneigungswinkel in der niedrigsten Geschwindigkeitsklasse kamen

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse durch die Wiederholung eines Versuchs zustande – es wurde aber nur dieser Wiederholungsversuch aufgenommen, da hier Schwimmverhalten gezeigt wurde, bei allen anderen Versuchen wurde ausschließlich der endgültige Versuch gewertet.

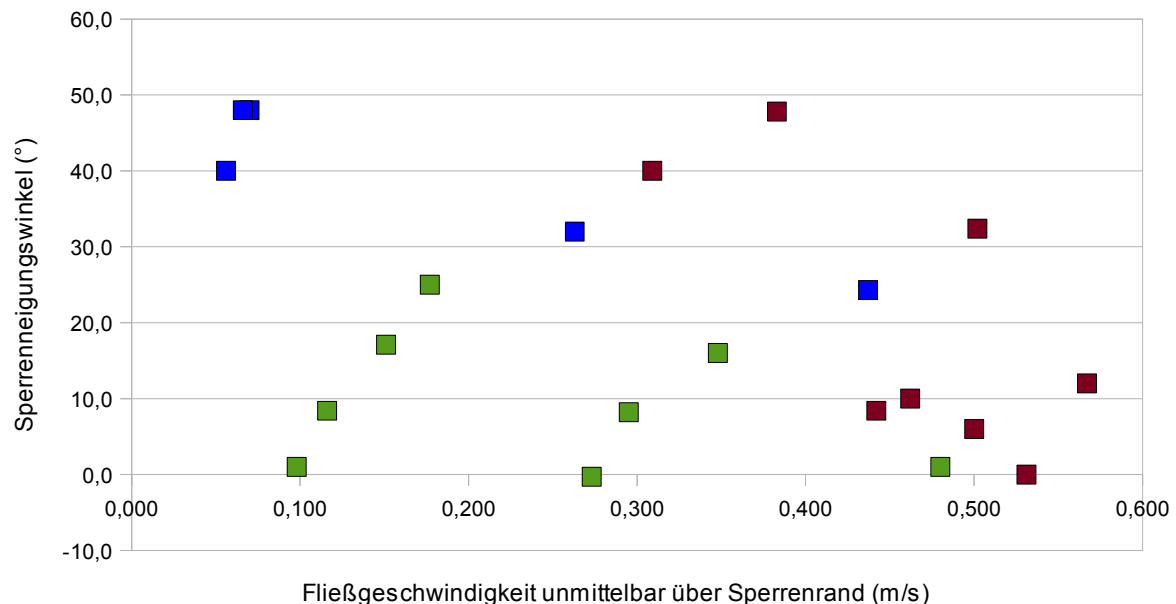


Abbildung 22: Korrelation von Sperrneigungswinkel und Fließgeschwindigkeit am Sperrenrand (grün: Sperrre überklettert, blau: Sperrre überschwommen, rot: Sperrre wirksam)

3.3.3 Bildung von „Räuberleitern“ - Besatzdichte

In einem Versuch (siehe Versuch 2.1 und Verhaltensanalysetabelle im Anhang), kletterten mehrere Individuen übereinander, was in der Überwindung der Sperrre (25° / Strömungsgeschwindigkeit 0,177 m/s) durch das oberste Tier resultierte. Die Besatzdichte von 8 Tieren pro m² ermöglichte dieses Verhalten. Dadurch, dass die Krebse keine Verstecke zu ihrer Verfügung hatten, versuchten sie während ihrer Aktivitätsphasen fast ununterbrochen, die Sperrre zu überwinden. Dadurch kam es zeitweise zu größeren Ansammlungen von Tieren in einer Ecke an der Sperrenplatte und im genannten Versuch letztlich zur unbeabsichtigten Bildung einer „Räuberleiter“.

3.3.4 Bewegung in Strömungsrichtung

Wie in Kapitel „3.2.5 Bildung von Wirbeln“ beschrieben, kam es zu Verwirbelungen des Wassers auf der Sperrenplatte. Dies beeinflusste auch das Verhalten der Flusskrebse, die hauptsächlich versuchten, sich gegen die Strömung zu bewegen. Durch die Wirbel kam es zu einer Umkehrung der Strömungsrichtung auf der Sperrenplatte – die Tiere wurden regelrecht zum Rand hoch gedrückt, was sich jedoch nicht negativ auf die Sperrenüberwindbarkeit auswirkte. Die Krebse reagierten meist durch Ändern der Laufrichtung auf die plötzliche Umkehrung der Strömung. Hatten sie zuvor noch versucht, die Sperre zu überlaufen, drehten sie in der umgekehrten Strömungsrichtung der Wirbel um und versuchten, wieder zurück zur Sohle in der Startkammer zu gelangen. Schaffte es ein Krebs unter diesen Voraussetzungen den Rand der Sperre zu erreichen, traf er hier unmittelbar wieder auf die eigentliche Strömungsrichtung und -stärke, was für das unvorbereitete Tier meist ein sofortiges Zurückschleudern – oft mit einem 360°-Überschlag – in die Startkammer zur Folge hatte.

3.3.5 Verletzungen, Geschlecht, Länge, Gewicht

Eine Auswirkung von Verletzungen wurde lediglich bei niedrigen Fließgeschwindigkeiten und niedrigen Sperrenneigungswinkeln wahrnehmbar. Hier entstand zumindest subjektiv der Eindruck, Tiere mit nur einer Schere bräuchten etwas länger zur Überwindung der Sperre als unverletzte Individuen. Dies lässt sich auf ein schlechteres Gleichgewicht durch das Fehlen des Gewichts der einen Schere erklären. Der Einfluss solcher Handicaps schien aber vernachlässigbar gering zu sein.

Das Geschlecht schien für die Fähigkeit, die Sperre zu überwinden keinen Unterschied zu machen. Zwar wurde die Sperre häufiger von Männchen überwunden, doch waren auch in fast allen Versuchen mehr Männchen als Weibchen in der Versuchskammer enthalten. Bei niedrigeren Winkeln und Strömungsgeschwindigkeiten, die das Überwinden durch mehrere Tiere erlaubten, schafften Weibchen dies ebenso schnell und problemlos wie Männchen.

Aussagen zum Einfluss von Länge und Gewicht ließen sich nicht machen, da durch die Beschränkung, nur Tiere einsetzen zu können, die mindestens 9,5 cm lang waren, die Unterschiede zwischen den Individuen nur gering waren.

3.3.6 Ungültige Versuche - Benutzung des Randspalts

Bei einigen Versuchen schafften die Tiere es nur dann, die Sperre zu überwinden, wenn sie sich mit den Schreitbeinen im Randspalt zwischen Sperre und Rinnenwand fest klammerten. Insbesondere große Exemplare mit kräftigen Schreitbeinen, schafften es, diese im Randspalt so fest zu hebeln, dass sie auf diese Weise höher an der Sperre hinauf klettern konnten, als Strömungsverhältnisse und Neigungswinkel das eigentlich ermöglicht hätten. In der anschließenden Videoanalyse wurden die Versuche 3.2, 4.2, 8.2, 10, 11.2, 12.2 und 13.1 als ungültig eingestuft, da es hier zur Nutzung des Randspalts kam (zur Verteilung von Abfluss- und Winkelwerten siehe Tabelle 9). Die betroffenen Versuche wurden ab Versuchs-ID 14 mit abgedichtetem Randspalt wiederholt.

Tabelle 9: Als ungültig gewertete Versuche, bei denen der Randspalt zwischen Sperre und Rinnenwand zum Klettern genutzt wurde (Protokollbögen siehe Anhang)

Versuchs-ID	Durchflussklasse und Sperrenneigung
V 3.2	35 l/s; 33°
V 4.2	35 l/s; 40,3°
V 8.2	56 l/s; 16°
V 10.1	10 l/s; 32,4°
V 10.2	10 l/s; 24,3°
V 11.2	10 l/s; 39,6°
V 12.2	10 l/s; 56°
V 13.1	10 l/s; 64°

3.3.7 Schwimmgeschwindigkeit

Die unter Kapitel „2.8 Zusatzversuche zur Schwimmgeschwindigkeit der Tiere“ beschriebenen Versuche ergaben eine maximale Schwimmgeschwindigkeit der Tiere im Aquarium von 0,375 m/s. Damit blieben sie weit hinter der im Rinnenversuch gezeigten Schwimmleistung zurück. Hier waren sie noch bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,437 m/s in der Lage gewesen, gegen diese an zu schwimmen und so die Sperre zu

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse überwinden. In stehendem Wasser hätte somit eine Schwimmggeschwindigkeit deutlich über diesem Wert erreicht werden müssen. Tabelle 10 zeigt einen Überblick über die Ergebnisse der Schwimmversuche.

Tabelle 10: Maximale Schwimmggeschwindigkeiten von 10 getesteten Flusskrebse ohne Gegenströmung

Geschlecht/Besonderheiten	Länge (cm)	Maximale gemessene Schwimmggeschwindigkeit (m/s)
männlich	8,0	0,250
männlich	8,5	0,250
männlich	10,0	0,138
männlich, nur eine Schere	10,0	0,333
weiblich, eiertragend	8,5	0,272
männlich	11,0	0,194
männlich, Verletzung am Abdomen	6,0	0,307
weiblich, eiertragend	10,0	0,292
weiblich, eiertragend	10,5	0,133
weiblich, nur eine Schere	8,5	0,375

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Ergebnisse

4. Diskussion/Ausblick

4.1 Korrelation Fließgeschwindigkeit/Sperrenneigungswinkel bei glatter Sperrenplatte

Dass eine Korrelation zwischen Strömungsgeschwindigkeit und benötigtem Sperrenneigungswinkel bestand, wird bereits bei der groben Betrachtung der Abflusswerte deutlich. Abbildung 17 zeigt, dass der benötigte Sperrenwinkel mit zunehmendem Abfluss kleiner wurde. Die Abweichung bei Abflüssen von 120 bis 140 l/s kamen dabei lediglich durch die verschiedenen großen Schritte in der Winkeleinstellung zustande. Bei einem Abfluss um 112 l/s wurden Winkelstufen von 6° und 10° getestet, wobei sich bereits 6° als wirksam erwiesen. Diese Versuche (Versuche 20.1 und 20.2, siehe Anhang) fanden nach den anderen Messreihen statt und dienten der Austarierung des grenzwertigen Bereichs, daher wurde hier nicht in den üblichen 8°-Schritten vorgegangen. Der Versuch bei einem Abfluss um 137,5 l/s fand vorher statt und wurde mit den üblichen 8°-Schritten durchgeführt, wobei die 0°-Barriere noch überwunden werden konnte. Dadurch kommt es zu einer Wellenbewegung im Graphen.

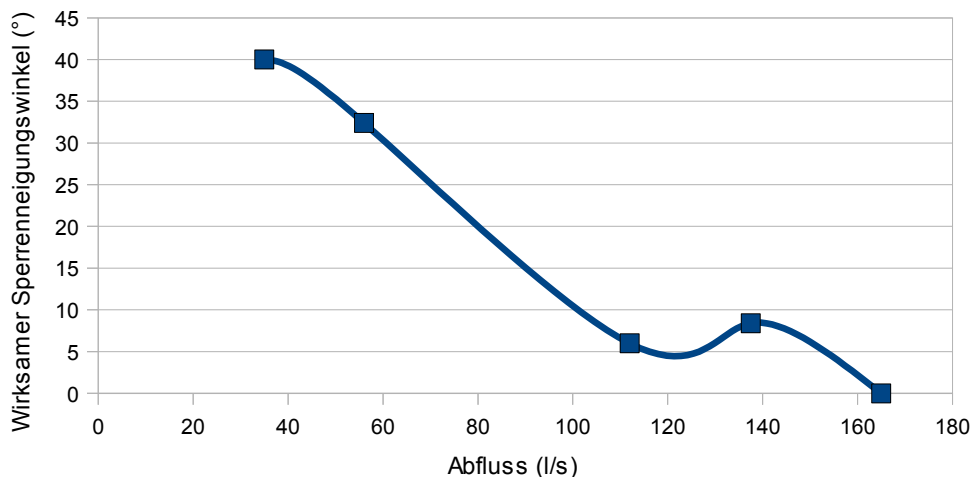


Abbildung 17: Korrelation zwischen Abfluss und wirksamer Sperrenneigung

Da sich in den Versuchen das Schwimmverhalten wider Erwarten als ausgesprochen wichtig für die Sperrenüberwindung erwies und die verschiedenen Verhaltensweisen unterschiedlich stark von Neigungswinkel und Strömungsgeschwindigkeit beeinflusst wurden, werden die

weiteren Ergebnisse nach verhaltensbiologischen Aspekten getrennt besprochen.

4.1.1 Kletterverhalten

Der erste Versuch, der Signalkrebse, die Sperre zu überwinden bestand stets in der ihnen vertrautesten Fortbewegungsart – dem Laufen über den Gewässergrund und anschließendem Weiterklettern auf der Sperrenplatte. Wie schon Peay (2001) und Ellis (2005) anmerkten, sind Krebse ausgezeichnete Kletterer, haben aber Probleme mit glatten Oberflächen (Ellis 1999). Dies konnte auch in den Versuchen beobachtet werden. Die glatte Sperrenplatte konnte bei niedrigen Geschwindigkeiten bis 0,07 m/s auf allen Winkelstufen – bis hin zu 48° - überklettert werden (siehe Messreihe der Abflussklasse 10 l/s – Protokollbögen im Anhang). Bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten reichten immer flachere Winkel aus, bis bei einer Fließgeschwindigkeit von 0,531 m/s bereits eine flach aufliegende Barriere – also im Grunde eine 35 cm breite, glatte Fläche auf der Rinnensohle – die Tiere erfolgreich am Weiterwandern hindern konnte. In einer Fischtreppe, die konstante Strömungsgeschwindigkeiten in diesem Bereich aufweist, könnte also theoretisch schon ein glatter Untergrund ohne jegliche Neigung ausreichend sein, was sich auch auf Bodenfische – sofern diese nicht von dem Material an sich abgeschreckt werden – positiv auswirken sollte. Des weiteren fiel auf, dass ab Fließgeschwindigkeiten um 0,295 m/s und Neigungswinkeln über 0° starke Wirbel auftraten, die die Krebse irritierten und beim Klettern störten. Das schien daraus zu resultieren, dass die Krebse auf die Änderungen der Fließrichtung innerhalb der Wirbel mit Änderungen ihrer Laufrichtung reagierten. Auch endete das Erreichen der Sperrenkante in einem Zurückschleudern der Tiere, da diese dort vollkommen unerwartet auf die eigentliche Strömungsrichtung und -stärke trafen. Dies trat unter den im Versuch gegebenen Voraussetzungen auf. Für die Zukunft wäre es sicher interessant zu erproben, ob eine Veränderung der Sperrenhöhe, -form oder -stärke, insbesondere durch Benutzung eines anderen Materials als PVC dieses Phänomen vermindert oder verstärkt. Da die Tiere die Sperre am häufigsten am Rand überquerten, wäre es beispielsweise denkbar, die Form der Sperrenkante so anzupassen, dass dort noch größere Fließgeschwindigkeiten zustande kommen als in der Mitte, wo die Möglichkeiten zum Festhalten wesentlich geringer sind.

4.1.2 Bildung von „Räuberleitern“

Da es in den Versuchen teilweise zur Bildung von „Räuberleitern“ kam, bei denen mehrere Tiere übereinander kletterten, wobei das oberste Tier schließlich den Rand erreichen und die Barriere überwinden konnte, ist davon auszugehen, dass ab einer entsprechenden Krebsdichte vor einer Barriere jede Sperrenhöhe und jeder Winkel überwunden werden kann. Für Barrieren in der Praxis würde sich also eine regelmäßige Kontrolle und gegebenenfalls ein Absammeln der Tiere anbieten. Auch ist zu überlegen, wie die Ansammlung vieler Individuen vor der Sperre möglichst gering gehalten werden kann. Hier könnte erprobt werden, ob beispielsweise ein wenig attraktiver Bereich vor der eigentlichen Barriere – durch das Fehlen von Verstecken, Nahrung etc. - diesen Zweck erfüllen würde. Dieser könnte aber die Krebse auch zusätzlich motivieren, die Sperre zu überwinden und sich davor anzusammeln, wenn die Flusskrebisdichte unterhalb des unattraktiven Bereichs zu sehr zunimmt. Alternativ könnte man also auch zusätzliche, aber leicht kontrollierbare Verstecke im Barrierenbereich anbieten, so dass die Tiere sich zurück ziehen können, wie es auch in der von Peay (2001) beschriebenen Fangkammer praktiziert wird (siehe Einleitung - Kapitel 1.3.1 Untersuchungen zu Flusskrebsbarrieren ohne besondere Berücksichtigung des Fischzugs). Beispielsweise könnten Rohre verschiedener Größe in einer sinkenden Struktur als Unterschlüpf angeboten, regelmäßig gehoben und auf Insassen kontrolliert werden. Dies würde nicht nur den Ansturm auf die Barriere verringern, sondern auch einen groben Eindruck über die vor der Sperre befindlichen Krebsarten und deren Populationsdichte vermitteln.

4.1.3 Verletzungen und Geschlecht

Sowohl das Fehlen von Gliedmaßen als auch das Geschlecht der Tiere schien für die Fähigkeit, die Sperre kletternd zu überwinden von untergeordneter Bedeutung zu sein. Lediglich bei sehr niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten und Sperrenwinkeln entstand der Eindruck, Tiere mit fehlenden Scheren würden etwas länger für die Überwindung brauchen als vollkommen intakte Exemplare. Da aber die Gesamtzahl der Individuen nicht groß genug

war, ist dies keinesfalls ein signifikantes Ergebnis. Neben den fehlenden Scheren hätte auch der Allgemeinzustand des Individuums dafür verantwortlich sein können. Da nur adulte Tiere ab 9,5 cm Körperlänge eingesetzt werden konnten, wäre es zukünftig interessant zu prüfen, ob juvenile Exemplare mit höheren Winkeln oder Fließgeschwindigkeiten besser oder schlechter zurecht kommen.

4.2 Einfluss der Sperrenrauheit auf die Kletterleistung

Die Versuche mit aufgerauten Sperrenplatten durch Schmirgelpapier zeigten deutlich die Wichtigkeit einer absolut glatten Fläche zum erfolgreichen Rückhalt von Flusskrebse. Auf rauen Materialien konnten sowohl höhere Winkel als auch stärkere Strömungsverhältnisse von den Tieren bewältigt werden, als bei den zuvor erfolgten Versuchen mit glatter Sperrenplatte und ansonsten gleichen Einstellungen. Dies deckt sich mit den Befunden von Peay (2001) und Ellis (2005), bei denen Algenbildung und Korrosion für die Überwindung eines Wehres durch Krebse verantwortlich gemacht wurden, beziehungsweise bereits ein Klebebandstreifen an einer Aluminium-Barriere als Kletterhilfe diente. Auch die anfängliche Benutzung der Randspalten zwischen Sperrenplatte und Rinnenwand in den Aachener Versuchen bestätigte diese Ergebnisse. Bereits ein winziger Spalt konnte hier ausreichenden Halt bieten, um eine ansonsten wirksame Barriere passierbar zu machen. Im Hälterbecken gelang es den Tieren sogar, allein mit den großen Scheren am Kabel des Innenfilters hoch zu klettern und zu entkommen. Die Ecke des Hälterbeckens, in der das Filterkabel nach außen geführt wurde, musste daraufhin mit einem Brett abgedeckt werden.

Dies zeigt die Notwendigkeit der Benutzung eines glatten, korrosionsbeständigen Materials für die endgültige Sperrenkonstruktion. Ellis (1999) nannte bereits ebenen Beton, sauberes Metall, Kunststoff- und Glasflächen als geeignete Materialien, um kletternde Flusskrebse abzuwehren, wobei Glas für die Praxis weniger geeignet erscheint. In ihrer Studie im Jahr 2005 wurden noch weitere Oberflächen für den Sperrenbau erprobt und evaluiert. Dabei wurde rostfreier Stahl als am effektivsten und langlebigsten bewertet, dicht gefolgt von Polyurethan, welches hier aber nicht als Barrierenplatte, sondern als Überzug für eine Betonbarriere bewertet wurde. Dieses ist nicht ganz so korrosionsbeständig wie Stahl.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

In der Praxis wird eine Barriere gleich welchen Materials mit der Zeit mit Algen und Biofilmen überzogen werden, die letztlich mit großer Wahrscheinlichkeit dem Kletterkünstler Flusskrebse genug Halt bieten würden. Dies kann nur durch eine regelmäßige Wartung und Reinigung der Sperrenplatten verhindert werden, wie sie in künstlichen Strukturen wie Fischtreppe leichter möglich und ohnehin notwendig ist. Auch ist hier der Transport von größerem Treibgut und Sediment im Vergleich zu einem natürlichen Bachbett stark eingeschränkt. In letzterem würde unter Umständen schon ein einziger treibender Ast, der an einer Sperre hängen bleibt, diese über Nacht passierbar machen.

Sowohl die Randspaltnutzung im Rinnenversuch als auch Ellis' Befunde aus den Poolversuchen zeigen, dass Nähte und Spalten jeglicher Art vermieden werden sollten. Unter Umständen könnte das passgenaue Einlegen eines geformten Blechs, das noch an den Rändern des Strömungskanals hinauf gezogen wird, die Überwindbarkeit weiter vermindern, da hier eine Abrundung der Ecken im Übergang zwischen Barrierenplatte und Wand möglich wäre (siehe Abbildung 23). Dies sollte zumindest die Kontaktfläche für die Tiere deutlich vermindern. Im Versuch hatten sie zwar nach Verschluss der Randspalten diese nicht mehr nutzen können, bei höheren Geschwindigkeiten und Neigungswinkeln gelang das Überklettern aber immer nur am seitlichen Sperrenrand, wo scheinbar der 90°-Winkel schon ausreichend zusätzliche Fläche für die Schreitbeine der Tiere bot und den Reibungswiderstand erhöhte.

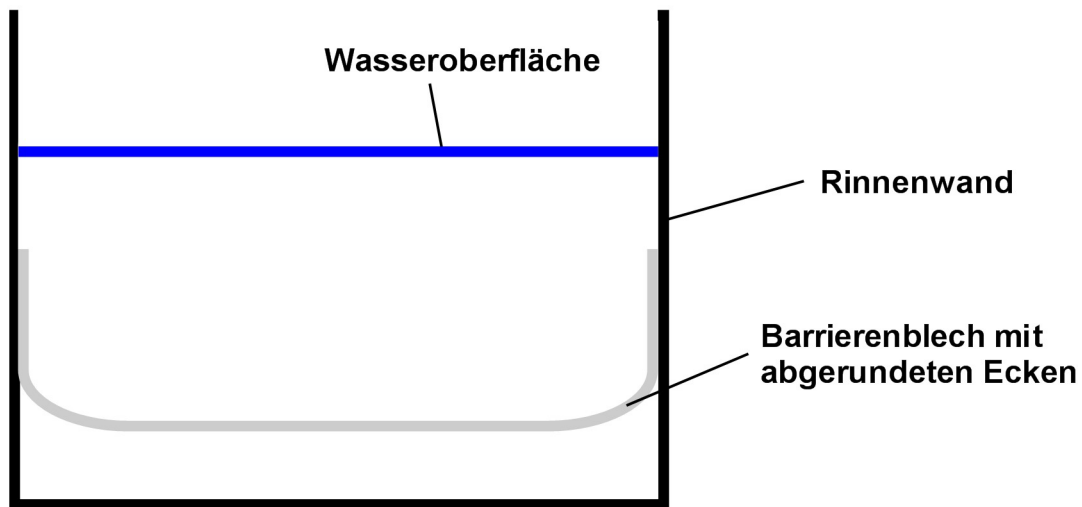


Abbildung 23: Mögliche Variation eines Barrierenblechs mit abgerundeten Ecken im Querschnitt

4.3 Bedeutung des Schwimmverhaltens

Von unerwartet großer Bedeutung zeigte sich das Schwimmverhalten der Signalkrebse. Während Ellis' (2005) Versuche, die Tiere zum Überschwimmen einer Barriere anzuregen, erfolglos blieben, und Wine und Krasne (1972), Webb (1979), Holdich und Reeve (1988), Holdich (2002) und Light (2002) den Schwimmreflex als selten spontan und dann nur kurzweilig bezeichneten, zeigten die Tiere dieses Verhalten in Aachen ohne äußere Einwirkungen, über mehrere Sekunden und als direkte Strategie mit dem Ziel der Sperrenüberwindung.

Bereits im Hälterbecken fielen immer wieder Tiere auf, die zur Oberfläche hoch schwammen und dort mit mehreren Schwanzschlägen versuchten, aus dem Becken zu entkommen. Da der Wasserstand im Becken nicht bis zum Rand reichte, blieben die Versuche erfolglos. Dennoch entstand der deutliche Eindruck, dass die Tiere versuchten, einen Fluchtweg an der Wasseroberfläche zu finden und dazu gezielt schwammen. Durch die hohen Dichten der Tiere im Becken, konnte aber zu diesem Zeitpunkt nicht sicher ausgeschlossen werden, dass es zuvor zu Dichtestress und Revierkämpfen gekommen war und dies die Krebse zum Schwimmen veranlasst hatte.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

Über die Videoaufnahmen der Rinnenversuche wurde aber dann deutlich, dass die Tiere das Schwimmverhalten ohne vorherigen Stress oder andere äußere Einwirkungen zeigten. Blieben Kletterversuche über längere Zeit erfolglos, drehten sie sich um, richteten sich gezielt mit dem Abdomen gegen die Strömung und gegen den Sperrenrand aus und beförderten sich mit mehreren aufeinanderfolgenden Schwanzschlägen in die Wassersäule. Dabei schwammen sie entweder über längere Zeit gegen die Strömung an, bis sie die Barriere sicher überwunden hatten und ließen sich anschließend hinter der Barriere wieder auf die Sohle sinken oder sie beförderten sich mittels Schwanzschlägen an der Barrierenplatte entlang bis zum Rand, wo sie mit den Schreitbeinen Halt finden konnten. Von dort aus schoben sie sich dann so weit hinüber, dass sie sich auf der anderen Seite fallen lassen konnten. In allen Versuchen, bei denen Schwimmen für die Barrierenüberwindung verantwortlich war, konnte eine Fremdeinwirkung und somit auch der Fluchtreflex ausgeschlossen werden. Mit 8 Tieren pro m² war im Rinnenversuch die Besatzdichte bereits wesentlich geringer als in Ellis' Poolversuchen mit 19 Tieren pro m², was Konflikte unwahrscheinlicher werden lässt. Die Videoaufzeichnungen bewiesen, dass in mehreren Fällen die Tiere unmittelbar vor dem Schwimmversuch sogar gänzlich alleine an einer Stelle gesessen hatten, ohne überhaupt mit anderen Individuen in Berührung zu kommen. Da die Frontscheibe der Rinne verhängt war und während der Versuche nicht innerhalb der Rinne manipuliert wurde, ist auch eine Reaktion auf andere Störfaktoren ausgeschlossen. Zudem fanden auch nachts Schwimmversuche statt, wenn definitiv nur andere Krebse einen Fluchtreflex hätten auslösen können, da sich dann keine Personen in der Versuchshalle aufhielten.

Das Verhalten trat meist längere Zeit nach Versuchsbeginn auf. Der kürzeste Zeitraum lag hier bei 41 Minuten. Es kam aber auch vor, dass ein Versuch (19.2 – siehe Protokolle im Anhang) bereits 33 Stunden dauerte, ohne dass eine Überwindung der Barriere durch Klettern möglich war, bevor Tiere zu schwimmen begannen. Dass in den Rinnenversuchen in Kalifornien kein Schwimmverhalten gezeigt wurde, könnte also an der zu kurzen Versuchszeit von 45 bis 60 Minuten liegen. Auf der anderen Seite wurde der Poolversuch dort über mehrere Wochen betrieben, ohne dass die Tiere schwammen (Ellis 2005). Somit wäre auch ein Einfluss der Strömung möglich. Eventuell schwimmen die Tiere instinktiv gegen die Strömung, aber eben auch nur dann, wenn Strömung vorhanden ist.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

Möglicherweise handelt es sich bei den unterschiedlichen Verhaltensformen der Tiere in Kalifornien und Deutschland auch um populationspezifische Abweichungen. Vielleicht ist das ausgeprägte, gerichtete Schwimmverhalten im Genpool der deutschen Population einfach stärker vertreten als in dem der amerikanischen. Hier würde sich die Frage stellen, ob solche Verhaltensformen überhaupt genetisch bedingt sind, oder ob die Tiere in der Iiterbachpopulation das Verhalten sogar erlernt haben.

Ein Detail aus den Versuchen wirft hier weitere Fragen auf. In dem Versuch, in dem die Tiere am längsten erfolglos versucht hatten, die Sperre zu überklettern, schwammen nach 33 Stunden plötzlich gleich zwei Tiere über die Barriere. Unmittelbar, nachdem ein Krebs die Barriere hier direkt überschwommen hatte, beförderte sich ein weiteres Tier mit nur wenigen Minuten Abstand über Schwanzschläge zum Barrierenrand um sich von dort hinüber zu schieben. Die Wahrscheinlichkeit, dass nach einer so langen Zeit ohne Sperrenüberwindung, durch Zufall gleich zwei Tiere nahezu gleichzeitig über die Barriere schwimmen, ist gering. Dies würde dafür sprechen, dass das Verhalten tatsächlich erlernt wurde und in diesem speziellen Fall, der zweite Krebs das Verhalten des ersten nachahmte. Dies würde sicherlich durch eine noch größere Anzahl von Versuchen dieser Art besser geklärt werden können. Auch Versuche zur grundsätzlichen Lernfähigkeit von Flusskrebsen könnten dabei vielversprechend sein.

Ergebnisse der Aachener Versuche deckten sich in sofern mit denen von Ellis (2005), dass auch hier eine Motivation der Tiere, das Schwimmverhalten als Fluchtreflex zu zeigen, sich als äußerst schwierig erwies und bei Gelingen auch nur kurz und wesentlich langsamer als im Rinnenversuch gezeigt wurde. Das Einbringen eines anterioren visuellen Stimulus, wie er von Wine und Krasne (1972), Webb (1979), Holdich und Reeve (1988) und Holdich (2002) als Auslöser beschrieben wird, erwies sich als unzureichend. So reagierten die Tiere im Vorfeld der Versuche weder auf einen von vorne an sie herangeführten Kescherstiel, noch ein Netz oder eine Fischattrappe. Auch das Anstoßen von vorne mit solchen Gegenständen, konnte sie nicht zum Schwimmen animieren. Die erfolgreiche Methode bestand letztlich im Berühren der Krebse von hinten und dem kurzzeitigen Herunterdrücken des Abdomens, wobei der Schwimmreflex stets erst nach Entfernung des Drucks gezeigt wurde. Auf der anderen Seite reagierten die Tiere häufig mit Schwimmreflexen, wenn sich eine Person dem Hälterbecken

näherte. Diese Methode funktionierte aber im Aquarienversuch nicht mehr. Die Befunde verstärken noch mehr den Eindruck, dass das Schwimmverhalten in den Aachener Rinnenversuchen gezielt eingesetzt wurde, um über die Sperre zu kommen. Nur hier, wurden Strömungsgeschwindigkeiten von 0,437 m/s noch bewältigt, was bedeutet, dass der Krebs noch wesentlich schneller geschwommen sein muss. Im Aquarium brachten die Tiere es gerade mal auf 0,375 m/s. Für die Zukunft wäre es hilfreich, weitere Schwimmversuche mit Flusskrebsen durchzuführen, um so an genauere Daten in Bezug auf die Schwimmleistung zu kommen. Webb (1979) stellte in seinen Schwimmversuchen mit dem Roten Amerikanischen Sumpfkrebs Schwimmgeschwindigkeiten von 0,4 bis 0,8 m/s fest, was durchaus auch mit den im Aachener Rinnenversuch gezeigten Leistungen vergleichbar ist. In Bezug auf genauere Geschwindigkeitsmessungen wäre es auch interessant, anhand einer größeren Stichprobe zu untersuchen, ob Jungtiere bessere oder schlechtere Schwimmleistungen erbringen als adulte Exemplare.

Eine Erhöhung der Barrierenwand scheint derweil als Maßnahme gegen erfolgreiches Schwimmverhalten wenig versprechend zu sein. Während diese auch für Bodenfische eine Sperrenüberquerung nicht einfacher machen würde, schwammen die Krebse beim direkten Überwinden der Barriere ohne Zwischenstopp am Rand stets mit großem Abstand über diese hinweg, meist beförderten sie sich sogar gezielt bis direkt unter die Wasseroberfläche, wie sie es auch bei ihren Fluchtversuchen im Hälterbecken schon getan hatten.

4.4 Zusammenfassung und Prüfung der Hypothesen

Abbildung 24 fasst die Ergebnisse noch einmal zusammen. Dabei wurden die erhaltenen Werte farbig hinterlegt, um einen groben Überblick über die Überwindungsmöglichkeiten zu geben. Die Verteilung der Flächen wurde dabei nur geschätzt und stellt keinesfalls schon einen Richtwert für Sperreninstallationen in der Praxis dar. Die grobe Tendenz wird aber aus diesen Befunden deutlich.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

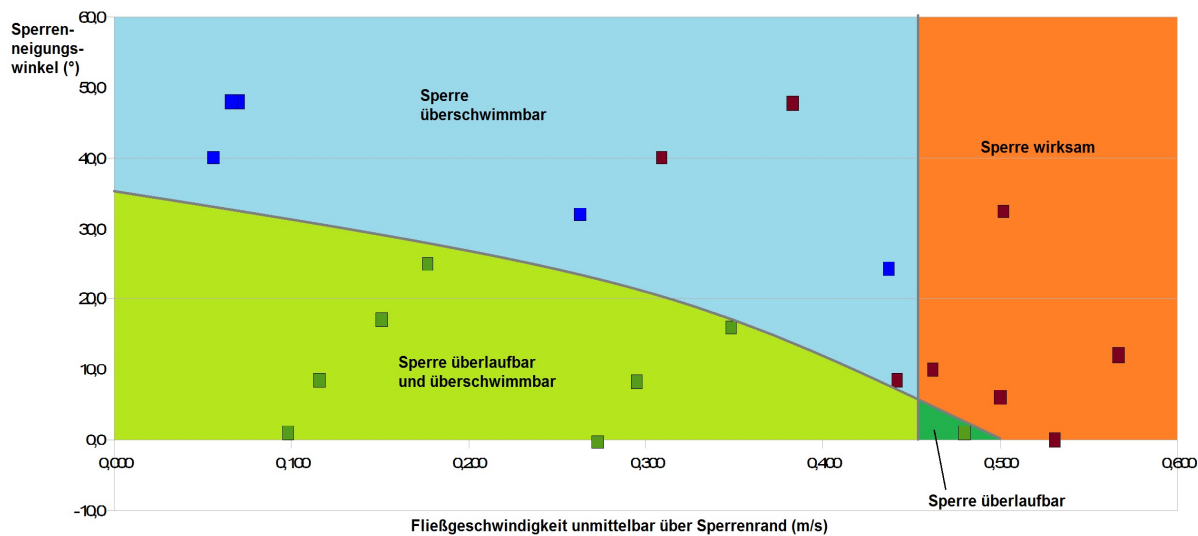


Abbildung 24: Zusammenfassung der Ergebnisse (Grenzen geschätzt)

Die Tatsache, dass die Krebse noch bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,437 m/s gegen diese anschwimmen konnten, lässt die Winkeleinstellungen der Barrieren unterhalb dieser Geschwindigkeitsgrenze zweitrangig erscheinen. Es ist davon auszugehen, dass jeder Neigungswinkel bei diesen Strömungsverhältnissen zumindest von Einzeltieren überwunden werden kann.

Bei Geschwindigkeiten oberhalb dieses Grenzwertes zeigten die Tiere kein Schwimmverhalten mehr. Wo hier die genaue Grenze liegt, die Schwimmversuche sicher unterbindet, sollte durch weitere Versuche speziell zum Schwimmverhalten genauer untersucht werden. Erst ab diesem kritischen Wert wird auch der Sperrenneigungswinkel interessant. Tendenziell ist ab hier bereits eine geringe Sperrenneigung ausreichend, um Flusskrebse zurück zu halten, sofern die Barriere eine glatte Fläche aufweist. Dies wird auch aus dem im Verhältnis winzigen Bereich auf der Grafik deutlich, in dem die Sperrüberlaufbar, aber nicht mehr überschwimmbar war. Da die Tiere bei Strömungsgeschwindigkeiten oberhalb von 0,5 m/s beim Klettern deutliche Probleme hatten, ist davon auszugehen, dass ab einer Geschwindigkeit in diesem Bereich bereits sehr flache Neigungen, bis hin zu flach aufliegenden glatten Flächen Krebse zurückhalten. Dies macht gerade in Bezug auf die Überwindbarkeit durch Bodenfische Hoffnung, da ein Winkel

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

unterhalb von 10° bis 15°, wie er sich nach den Ergebnissen als wirksam zeigen sollte, eine Barrierenhöhe weit unter der von Utzinger et al. (1998) für Groppen als unüberwindbar eingestuften Höhe von 18-20 cm, ergeben würde.

Nur in Strukturen, in denen die Fließgeschwindigkeit oberhalb der kritischen Marke für das Überschwimmen liegt, scheint der Einbau einer einfachen Barriere überhaupt sinnvoll zu sein. Um auch Strukturen mit niedrigeren Durchflüssen abzudecken, wäre es empfehlenswert, in weiteren Versuchen eine entsprechende Modifizierung der Barriere zu entwickeln und zu testen. Möglicherweise könnte die horizontale Verlängerung der Sperrenplatte gegen die Strömungsrichtung in Form eines Walls, der dennoch die Strömung bündelt, erfolgversprechend sein (siehe Abbildung 25). Von einer langen, glatten Terrasse hinter der Barriere könnten die Krebse nach einem Schwimmversuch wieder hinter die Sperrenplatte gespült werden. Hier wäre auch die Entwicklung verschiedener Wallformen interessant, um möglicherweise die Strömung noch weiter zu bündeln und zu verstärken. Außerdem sollten neben der maximalen Schwimmgeschwindigkeit der Tiere auch Daten zur maximalen Schwimmstrecke erhoben werden, um die erforderliche Länge einer solchen Terrasse ermitteln zu können. Strömungssteigernde Komponenten, die oberhalb der Sperre installiert zu einer Verengung des Kanaldurchmessers führen würden, scheinen dagegen weniger sinnvoll, da sie in Ellis' Studie (2005) die Barrierenüberquerung nicht nur von bodenbewohnenden, sondern sogar von Freiwasserfischen verhinderten.

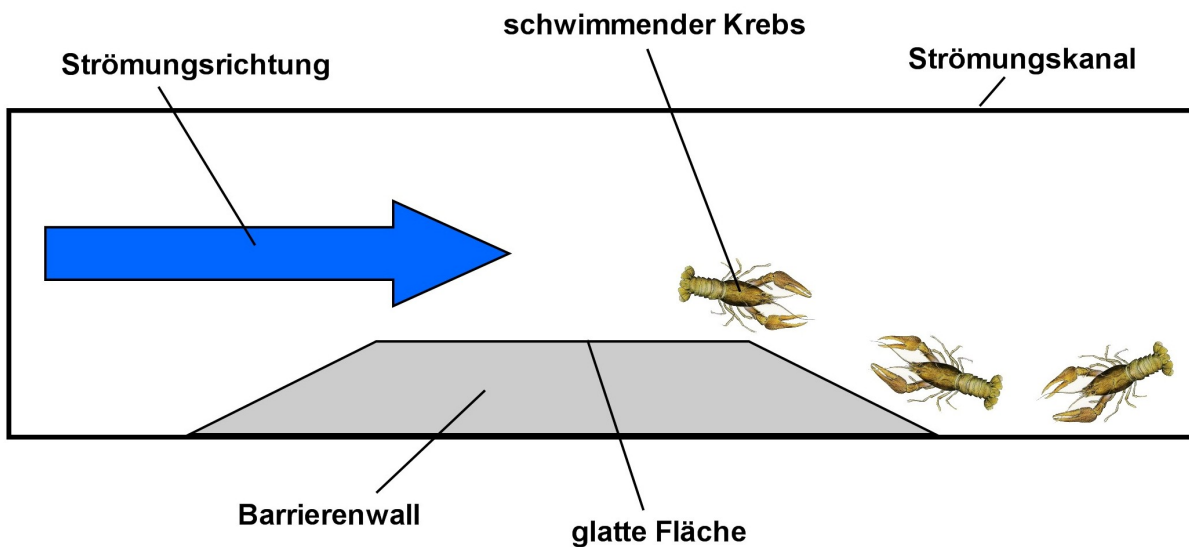


Abbildung 25: Verlängerte Sperrenplatte auf Wall mit glatter Oberfläche in Seitenansicht

Einer der wichtigsten Punkte für zukünftige Untersuchungen ist aber natürlich die Erprobung der Barriere an Fischen – insbesondere Bodenfischen wie der Groppe – um ihre Fähigkeit, die Barrieren zu überwinden, zu erforschen. Dabei stellt sich insbesondere die Frage, ab welchen Neigungswinkeln die Tiere ohne äußeren Antrieb über die Barriere schwimmen und gegen welche Strömungsgeschwindigkeiten sie noch ankommen. Da sie in Ellis' (2005) Versuchen die vertikale Barriere nicht ohne künstlich zugefügte Reize überwinden, wären hier gerade höhere Fließgeschwindigkeiten von großem Interesse. Sollten Groppen sich hier als schwimmfähiger erweisen als Krebse, würde unter Umständen eine flach aufliegende glatte Fläche ausreichen um als selektive Barriere zuverlässig Krebse zurückzuhalten und Fischen die Passage zu ermöglichen.

Rückblickend auf die eingangs formulierten Hypothesen lassen sich folgende Feststellungen machen:

a) *Es existiert eine Korrelation zwischen dem benötigten Neigungswinkel einer glatten Barriere, um Krebse zurück zu halten, und der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten und damit höherem Gegendruck für die Tiere, wird ein kleinerer Winkel notwendig sein, als bei niedrigeren Fließgeschwindigkeiten. Hierbei ist ein grober Wert vorhersagbar.*

Die Hypothese konnte verifiziert werden. Es bestand eine deutliche negative Korrelation

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

zwischen der vorherrschenden Fließgeschwindigkeit und dem benötigten Sperrenneigungswinkel, um ein Überklettern durch Flusskrebse zu verhindern. Dieser Zusammenhang wurde aber aufgrund der Schwimmfähigkeit der Tiere erst ab Fließgeschwindigkeiten von mindestens 0,437 m/s interessant. Oberhalb der kritischen Geschwindigkeitsgrenzen reichen bereits flache Winkel aus, um Krebse zurück zu halten.

b) Bei Aufrauung der Sperrenplatte verschiebt sich dieser Zusammenhang zugunsten der Krebse. Wenn sie mehr Halt finden, werden sie auch höhere Winkel und höhere Strömungsgeschwindigkeiten bewältigen können.

Auch diese Hypothese erwies sich als zutreffend. Eine Aufrauung der Sperrenplatte, die in der Praxis durch Verschmutzung, Korrosion und die Bildung von Algen und anderen Biofilmen entstehen könnte, verschob die zuvor genannte Korrelation von Sperrenwinkel und Fließgeschwindigkeit zugunsten der Krebse. Diese waren bei künstlich aufgerauten Sperrenplatten in der Lage, sowohl höhere Fließgeschwindigkeiten als auch höhere Sperrenneigungen kletternd zu überwinden.

c) Flusskrebse schwimmen nicht gezielt und nicht ohne äußere Einwirkung über Barrieren.

Diese Hypothese stellte sich entgegen der vorliegenden Untersuchungsergebnisse anderer Forscher als unzutreffend heraus. Die Versuche zeigten nicht nur, dass Krebse auch ohne äußeren Antrieb das Schwimmen mittels Schwanzschlag einsetzen, sondern auch, dass sie dabei außerordentlich gute Schwimmer sind, die auch über längere Strecken schwimmen können. Der Sperrenneigung kommt somit nur noch untergeordnete Bedeutung zu. Vielmehr ist die Strömungsgeschwindigkeit am Ort der Barriere interessant, da die Tiere auch gegen Geschwindigkeiten bis 0,437 m/s noch anschwimmen konnten. Ab diesem Geschwindigkeitswert konnte das Klettern schon mit sehr geringen Neigungswinkeln unterbunden werden. Für die Zukunft ist es umso wichtiger, die maximale Schwimgeschwindigkeit der Tiere näher zu bestimmen, um so Voraussagen für die benötigte Fließgeschwindigkeit am Ort der Barriereninstallation treffen zu können.

Insgesamt sind die Ergebnisse der Versuche vielversprechend im Hinblick auf die weitere Entwicklung einer fischpassierbaren Krebssperre, um die weitere Ausbreitung fremder Krebsarten zu verhindern und gleichzeitig die größtmögliche ökologische Durchgängigkeit von Fließgewässern im Sinne der Wasserrahmenrichtlinie zu gewährleisten. Um weiteren

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse - Diskussion

Aussetzungen dieser Tiere in freier Wildbahn vorzubeugen, ist aber auch die Information und Sensibilisierung der Öffentlichkeit erforderlich und eine gesetzliche strengere Regelung zu Einführung, Besatz und Verkauf dieser Arten wünschenswert. Denn die verbliebenen Populationen der heimischen Flusskrebse sind dann am sichersten geschützt, wenn Fremdarten und die potenziell mit ihnen einhergehende Krebspest gar nicht erst zur Verbreitung kommen.

5. Zusammenfassung

Der in Deutschland heimische Edelkreb (Astacus Astacus, Linné) wird durch nicht heimische Krebsarten, die die für ihn tödliche Krebspest übertragen, stark gefährdet und kommt nur noch in Reliktpopulationen insbesondere in den Oberläufen der Fließgewässer vor. Eine besondere Bedrohung für ihn geht vom Nordamerikanischen Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus*, Dana) aus, der besonders groß wird und auch mit den kühlen Wassertemperaturen der Oberläufe gut zurecht kommt. Die Wasserrahmenrichtlinie der Europäischen Gemeinschaft fordert für deutsche Gewässer einen guten ökologischen Zustand, der bis zum Jahr 2015 erreicht sein soll. Hierzu gehört auch eine möglichst gute Durchgängigkeit der Fließgewässer, beispielsweise durch den Bau von Ökostollen und anderen Wanderhilfen, die Fischen, aber auch Laufftieren die Überwindung künstlicher Hindernisse ermöglichen sollen. Daraus ergeben sich neben positiven Auswirkungen aber auch Gefahren für die heimische Flusskrebfauna.

Aus dieser Problematik resultierte die Idee, eine Barriere in Form einer geneigten glatten Platte zu entwickeln, welche beispielsweise in Fischtreppen eingebaut, die Wanderung von Fischen erlaubt, dabei aber Flusskrebse zurückhält. Ziel der vorliegenden Arbeit war es, eine erste Korrelation zwischen erforderlichen Neigungswinkeln der Barriere und der Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln und das Verhalten von Signalkrebsen an einer solchen Sperre im Tierversuch zu beobachten. Dabei sollte auch die Rolle einer aufgerauten oder verschmutzten Sperrenplatte, sowie die Bedeutung des Schwimmverhaltens der Krebse berücksichtigt werden. Die Versuche fanden in einer künstlichen Fließrinne statt, wo adulte Signalkrebse im 48h-Versuch mit unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und Sperrenneigungswinkeln konfrontiert wurden. Die Ergebnisse zeigten, dass die Tiere bis zu Geschwindigkeiten um 0,5 m/s in der Lage sind, gegen Strömungen an zu schwimmen und dies auch gezielt tun, um Barrieren zu überwinden. Bei höheren Fließgeschwindigkeiten waren dagegen schon sehr geringe Neigungen der Barriere ausreichend, um die Tiere zurück zu halten. Eine Aufrauung der Platte ermöglichte eine Überwindung durch Kletterverhalten bei höheren Geschwindigkeiten, sowie von steileren Sperrenwinkeln.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse -
Zusammenfassung

6. Literaturverzeichnis

- Blanke, D. (1998) Flußkrebse in Niedersachsen. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 18: 146-147.
- Blanke, D., Schulz, H. K. (2002) Situation des Edelkrebse (*Astacus astacus* L.) sowie weiterer Flusskrebarten in Niedersachsen. In: DGL e. V. (ed.) DGL/SIL Jahrestagung 2002. Eigenverlag der DGL, Werder, Braunschweig, S. 385-389.
- Bohl, E. (1987) Crayfish stock and culture situation in Germany. Report from the workshop on crayfish culture 16-19 November, Trondheim, S. 87-90.
- Boye, P. (2003) Neozoen. In: Kowarik, I. (ed.) Biologische Invasionen - Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart, 380 S.
- Dehus, P., Phillipson, S., Bohl, E., Oidtmann, B., Keller, M., Lechleiter, S. (1999) German conservation strategies for native crayfish species with regard to alien species. In: Gherardi, F., Holdich, D. M. (eds.) Crayfish in Europe as alien species. A. A. Balkema, Rotterdam, S. 149-159.
- Ebenhard, T. (1988) Introduced birds and mammals and their ecological effects. Swedish Wildlife Research Viltrevy 13: 1-107.
- Ellis, M. J. (1999) Species invasions and replacements in a native crayfish community. Ph. D. Dissertation, Department of Biology, The University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 230 S.
- Ellis, M. J. (2005) Crayfish Barrier Flume Study – Final Report. United States Fish and Wildlife Service, Spring Rivers Ecological Sciences, Contract Number 101812M634.
- Gross, H. (2003) Lineare Durchgängigkeit von Fließgewässern – ein Risiko für Reliktvorkommen des Edelkrebse (*Astacus astacus*, L.)? Natur und Landschaft 78: 33-35.
- Hager, J. (1996) Edelkrebse – Biologie, Zucht, Bewirtschaftung. Leopold Stocker Verlag, Graz, Stuttgart: 9-126.
- Håstein, T., Gladhaug, O. (1973) The occurrence of the crayfish plague in Norway and attempts to prevent further spread of the disease. Freshwater Crayfish 1: 181–184.
- Håstein, T., Gladhaug, O. (1975) The present status of the crayfish plague in Norway. Freshwater Crayfish 2: 273–275.
- Henttonen, P., Huner, J. V. (1999) The introduction of alien species of crayfish in Europe: a historical introduction. In: Gherardi, F., Holdich, D. M. (eds.) Crayfish in Europe as alien species: how to make the best of a bad situation?. A. A. Balkema, Rotterdam, S. 13-22.
- Holdich, D. M. (2002) Background and functional morphology. In: Holdich, D. M. (ed.) Biology of freshwater crayfish. Blackwell Science Ltd., Oxford, S. 3–29.
- Holdich, D. M., Reeve, I. D. (1988) Functional morphology and anatomy. In: Holdich, D. M., Lowery, R. S. (eds.) Freshwater crayfish. The University Press, Cambridge, S. 11–51.
- Horlacher, H.-B., Haufe, H., Bielitz, E., Fritze, S. (2007) Ökologische Durchgängigkeit von

- Hochwasserrückhaltebecken. In: 14. Deutsches Talsperrensymposium und 7th ICOLD European Club Dam Symposium, Beiträge zur Tagung am 17. bis 19. September 2007 in Freising, Technische Universität München Berichte des Lehrstuhls und der Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, 115/2007: 191-196.
- Kowarik, I. (2003) Biologische Invasionen - Neophyten und Neozoen in Mitteleuropa. Ulmer, Stuttgart, 380 S.
- Lewis, S. D. (2002) *Pacifastacus* - Biology of freshwater crayfish. In: Holdich, D. M. (ed.) Biology of freshwater crayfish. Blackwell Science Ltd, London, S. 511–534.
- Light, T. (2002) Behavioral effects of invaders: alien crayfish and native sculpin in a California stream - Chapter 3 in Invasion Success and Community Effects of Signal Crayfish (*Pacifastacus leniusculus*) in Eastern Sierra Nevada Streams. Ph.D. Dissertation, Graduate Group in Ecology, University of California, Davis, 146 S.
- Matthews, M., Reynolds, J. D. (1990) Laboratory investigations of the pathogenicity of *Aphanomyces astaci* for Irish freshwater crayfish. *Hydrobiologia* 203: 121–126.
- Momot, W. T. (1988) *Orconectes* in North America and elsewhere. In: Holdich, D. M., Lowery, R. S. (eds.) Freshwater crayfish: biology, management and exploitation. Croom Helm, London, S. 262-282.
- Pacific Gas and Electric Company (2002) Section E3.1.7 Fish Entrainment Studies. Pages E3.1-177 through E3.1-200 of the Upper North Fork Feather River Project (FERC No. 2105) Application for New License. Draft April 2002.
- Pasini, B. (2008) Bekämpfung des Signalkrebse *Pacifastacus leniusculus* in der Birs (BL) Bachelorarbeit, Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, Institut für Umwelt und Natürliche Ressourcen, 66 S.
- Peay, S. (2001) Eradication of alien crayfish populations. Environment Agency and English Nature, R&D Technical Report W1-037/TR1.
- Richtlinie 2006/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik.
- Schulz, H., Gross, H., Dümpelmann, C., Schulz, R. (2008) Flusskrebse Deutschlands. In: Füreder, L. (ed.) Flusskrebse – Biologie – Ökologie – Gefährdung. Folio Verlag, Wien, Bozen, S. 71-82.
- Söderbäck, B. (1991) Interspecific dominance relationship and aggressive interactions in the freshwater crayfishes *Astacus astacus* (L.) and *Pacifastacus leniusculus* (Dana). *Canadian Journal of Zoology* 69: 1321-1325.
- Söderhäll, K., Svensson, E., Unestam, T. (1977) An inexpensive and effective method for elimination of the crayfish plague: barriers and biological control. *Freshwater Crayfish* 3: 333–342.
- Stucki, P., Zaugg, B. (2006) Nationaler Aktionsplan Flusskrebse. Bundesamt für Umwelt, Bern, 40 S.
- Troschel, H. J. (1997) Distribution and ecology of *Austropotamobius pallipes* in Germany.

Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture 347: 639-647.

Troschel, H. J., Berg, R. (1989) Ein Nachweis des Dohlenkrebses *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet 1858) in Baden-Württemberg. Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg 64/65: 283-288.

Troschel, H., Dehus, P. (1993) Distribution of crayfish species in the Federal Republic of Germany with special references to *Austropotamobius pallipes*. Freshwater crayfish 9: 390-398.

Unestam, T. (1969) Resistance to the crayfish plague in some American, Japanese and European crayfishes. Reports of the Institute of Freshwater Research, Drottingholm 49: 202-209.

Unestam, T. (1972) On the host range and origin of the crayfish plague fungus. Reports of the Institute of Freshwater Research, Drottingholm 52: 192-198.

Unestam, T., Nestell, C. G., Abrahamsson, S. (1972) An electrical barrier for preventing migration of freshwater crayfish in running water - A method to stop the spread of crayfish plague. Report Institute of Freshwater Research, Drottingholm 52: 199-203.

Utzinger, J., Roth, C., Peter, A. (1998) Effects of environmental parameters on the distribution of bullhead *Cottus gobio* with particular consideration of the effects of obstructions. Journal of Applied Ecology 35: 882-892.

Verordnung zum Bundesgesetz über die Fischerei (VBGF), Schweiz, vom 24. November 1993 (Stand am 1. Juli 2009)

Webb, P. W. (1979) Mechanics of escape responses in crayfish (*Orconectes virilis*). Journal of Experimental Biology 79: 245-263.

Westman, K., Savolainen, R., Julkunen, M. (2002) Replacement of the native crayfish *Astacus astacus* by the introduced species *Pacifastacus leniusculus* in a small, enclosed Finnish lake: a 30-year study. Ecography 25: 53-73.

Wine, J. J., Krasne, F. B. (1972) The organization of escape behavior in the crayfish. Journal of Experimental Biology 56: 1-18.

Untersuchungen zur Überwindbarkeit von fischpassierbaren Barrieren durch Signalkrebse –
6. Literaturverzeichnis