

## Abschlussbericht

DBU Projekt Az 28879

Förderinitiative Aquakultur: Nachhaltige Besatzkrebszucht in  
einem geschlossenen Aquakultur-Kreislaufsystem am Beispiel  
des bedrohten Edelkrebses „*Astacus astacus*“

(Kurztitel: „AStRa“)

gefördert durch



Deutsche  
Bundesstiftung Umwelt

[www.dbu.de](http://www.dbu.de)

Kontaktadresse:

Uli B. Seemann (Projektleitung)  
Alfred-Wegener-Institut,  
Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung  
Am Handelshafen 12  
27570 Bremerhaven

Tel.: 0471/4831-2813

Fax: 0471/4831-1149

Email: [uli.seemann@awi.de](mailto:uli.seemann@awi.de)

## **Vorwort, Danksagung**

Im vorliegenden Projektbericht sind die Ergebnisse des Projekts „Nachhaltige Besatzkrebszucht in einem geschlossenen Aquakultur-Kreislaufsystem am Beispiel des bedrohten Edelkrebses *Astacus astacus*“ zusammengefasst.

Dieses Projekt wurde während seiner 3,5-jährigen Laufzeit von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) finanziell gefördert. Für diese Unterstützung möchten wir uns ganz herzlich bedanken.

Bei unseren Projektpartnern möchten wir uns besonders für die sehr gute Zusammenarbeit und den regelmäßigen Gedankenaustausch bedanken. Mit ihrem hohen persönlichen Engagement, den anregenden Diskussionen und hilfreichen Hinweisen bei der Versuchsplanung und -durchführung sowie der Analyse und Bewertung der Versuchsergebnisse haben sie maßgeblich zum Projekterfolg beigetragen.

Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Masterarbeiten sowie Projektierungen und Praktika von Studierenden der Hochschule Bremerhaven, der Universität Rostock und der Universität Bremen durchgeführt. Auch ihnen danken wir für ein hohes Maß an Eigeninitiative, Einsatz und Leistungsbereitschaft.

## Inhalt

Vorwort, Danksagung .....	2
Abbildungsverzeichnis .....	4
Abkürzungen .....	4
Anlass und Zielsetzung des Berichts.....	5
Kurzfassung des Berichts.....	5
Organisatorisches und Projektverlauf .....	5
Betriebsübergang .....	5
Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung sowie der Finanzierungsablauf.....	6
Beschreibung des Projektverlaufes in Zusammenhang mit dem 1. und 2. Zwischenbericht .....	6
Veränderte Zielsetzung des Vorhabens .....	6
Berichte und Veröffentlichungen.....	7
Veröffentlichungen.....	7
Veranstaltungen .....	7
Berichte .....	9
Lehre.....	10
Abschlussarbeiten .....	10
Material und Methoden.....	11
Zusammenfassung der Versuchsergebnisse .....	15
Futtermanagement .....	15
Systemdesign.....	15
Reproduktion.....	18
Mischkultur.....	19
Genetische Eignung.....	20
Wirtschaftlichkeitsanalyse.....	21
Ergebnisse von dritter Seite .....	22
Folgeprojekte .....	22
Ausblick .....	23
Literaturverzeichnis (Auszug) .....	24
Anlage 1.....	26
Anlage 2.....	27
Anlage 3.....	28
Anlage 4.....	34
Anlage 5.....	40
Anlage 6.....	47

Anlage 7: Erbrütungsmaschine .....	52
Anlage 8: Genetische Charakterisierung der Edelkrebszucht .....	53
Anlage 9 Wirtschaftlichkeitsanalyse – Edelkrebs .....	61
Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Zucht des europäischen Edelkrebses <i>Astacus astacus</i> .....	61
Anhang.....	69

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Bildungsseminar mit dem BUND Bremen.....	8
Abbildung 2 Versuchssysteme .....	10
Abbildung 3 Fließschema des Regalsystems 1 .....	12
Abbildung 4 Rückspülung mit zugeordneten Hähnen und Fließschema. ....	16
Abbildung 5 PVC-Verstecke für den Edelkrebs mit darunter liegender Lochplatte als 2ter Boden. ....	17
Abbildung 6 Jungtiere aus RAS Nachzucht .....	18
Abbildung 7 Hälterungseinheit für abwachsende Jungtiere.....	18
Abbildung 9 Kreislauf 2.1. ....	19
Abbildung 8 Polykulturkandidaten Red-Nile Tilapia und Edelkrebs. ....	19
Abbildung 10 Fließschema des Kreislaufsystems 2.1.....	20

## Abkürzungen

DBU	Deutsche Bundesstiftung Umwelt
AWI	Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz Zentrum für Polar- und Meereswissenschaften
RAS	Rezirkulierende Kreislaufanlage // recirculating aquaculture system
EAS	European Aquaculture Society
IAA	International Astacology Association
RS1-4	Regalsystem 1-4
SGR	Spezifische Wachstumsrate // specific growth rate
UV	Ultraviolett

## **Anlass und Zielsetzung des Berichts**

Dieser Projektbericht ist anlässlich der von der DBU vorgegebenen Berichterstattung nach Absprache mit Herrn Dr. Wurl, Referatsleiter Umweltgerechte Landnutzung, angefertigt worden. Es soll dabei der Projektverlauf von Mai 2012 bis Ende Oktober 2015 sowie die wichtigsten Ergebnisse vorgestellt werden.

## **Kurzfassung des Berichts**

Das Projekt untersuchte die Möglichkeit einer Zucht von Edelkrebsen in einer geschlossenen Kreislaufanlage und wurde entlang des aufgestellten Arbeitsplanes durchgeführt, wobei das Projekt kostenneutral um sechs Monate verlängert wurde. Insgesamt wurden Versuche zu dem Systemdesign, dem Futtermanagement, der Hälterung und der Reproduktion durchgeführt und abgeschlossen. Die gewonnenen Daten wurden für die vorgesehene Wirtschaftlichkeitsberechnung verwendet, wonach sich keine Monokultur sondern eine Produktion von Edelkrebsen in einer Polykultur empfiehlt mit einer vorangehenden Reproduktion und einem Vorziehen der Krebse in einer Kreislaufanlage. Die Ergebnisse zur genetischen Einordnung und Eignung des verwendeten Edelkrebsstammes für Besatzmaßnahmen liegen ebenfalls vor und befürworten seine Verwendung zur Nachzucht und zum Besatz in seinem natürlichen Verbreitungsgebiet. Im Zuge der Projektzusammenarbeit entstanden weiterhin gute Kontakte zu bestehenden Expertisen aus Forschung und Teichwirtschaft. Dabei wurde das Projekt auf verschiedenen Veranstaltungen und in Printmedien vorgestellt, ein BUND-Workshop mit einer angeschlossenen Exkursion durchgeführt und verschiedene Arbeiten wie Praktika und Abschlussarbeiten in das Projekt integriert. Zwei Veröffentlichungen in wissenschaftlichen Journalen liegen vor und drei weitere Manuskripte sind in Bearbeitung.

## **Organisatorisches und Projektverlauf**

### **Betriebsübergang**

Durch den Teil-Betriebsübergang der Arbeitsgruppe Marine Aquakultur für Nachhaltige Fischerei vom Institut für Marine Ressourcen GmbH (imare) an das Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz Zentrum für Polar- und Meereswissenschaften (AWI), wurde das AWI neuer Bewilligungsempfänger mit Beginn des Jahres 2015.

## Arbeits-, Zeit- und Kostenplanung sowie der Finanzierungsablauf

Das Projekt wurde entlang der im Antrag beschriebenen Versuchsplanung durchgeführt. Abweichungen im Zeitplan wurden durch die beantragte Projektverlängerung ausgeglichen. Die Verlängerung wurde kostenneutral durchgeführt und hat die Budgetierung nicht beeinflusst.

## Beschreibung des Projektverlaufes in Zusammenhang mit dem 1. und 2.

### Zwischenbericht

Zu den in den Zwischenberichten geschilderten Ergebnissen wurden mit dem **3. Projektjahr** die Wachstumswerte für 1,5 jährige Krebse ermittelt, welche nun gute Vergleichsdaten zu den in Teichen erzielten Werten geben (s. *Futtermanagement*). Ein weiterer Versuch zur Besatzdichte in Verbindung mit Versteckmöglichkeiten wurde ebenfalls durchgeführt und wird z.Z. zusammen mit vorherigen Ergebnisse in dem Paper „Shelter preference of European crayfish *Astacus astacus* reared in recirculating aquaculture systems“ bearbeitet. Basierend auf den Fettsäureprofilen und Futteralternativen wird zudem das Manuskript zum Paper „Feed alternatives for noble crayfish *Astacus astacus* based on fatty acid and lipid analyses“ erstellt. Die Polykulturversuche werden im „Polyculture potential of red Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and noble crayfish (*Astacus astacus*) in a recirculating aquaculture system“ aufbereitet. Die geplante Reproduktionsphase und die Fertigstellung einer Erbrütungsmaschine wurden wie beschrieben durchgeführt. Im Rahmen einer Abschlussarbeit (Jens Bünning, Universität Rostock) wurde der Einfluss des Lichtregimes auf das Häutungsverhalten des Edelkrebse untersucht (s. Anlage 6). Die für die Wirtschaftlichkeitsanalyse nötigen Daten wurden aufbereitet und zur weiteren Analyse verwendet (vgl. *Wirtschaftlichkeit*).

### Veränderte Zielsetzung des Vorhabens

Auf die Tests zur Verwendung von *Elodea sp.* und *Mytilus edulis* als Futterkomponenten wurden aufgrund der zusätzlichen, nötigen Untersuchungen zur Feststellung eines Basisfutters, dem Bau einer Brutanlage und zugunsten der Mischkulturversuche verzichtet. Zudem wäre die Aufbereitung beider Komponenten als Bestandteil eines extrudierten Futters zu zeit- und kostenintensiv geworden.

Aufgrund der bereits gewonnenen Erkenntnisse zur Eignung von Wasserpest und Miesmuschelmehl als Futterzusatz wurde entschieden, Produkte mit ähnlichen Inhaltsstoffen (gepresste Algenblätter und Mineralienkonzentrat) zusammen mit der

final verwendeten Futterzusammenstellung anzubieten. In Kombination liefert dieser sehr diverse Futtermix (hochwertiges Fischfutter, Algen, Mineralstoffe) die besten Ergebnisse im Vergleich zu den übrigen getesteten Futtermitteln hinsichtlich Wachstum, Aktivität und Färbung.

Der Bau der nicht geplanten, zweiten Brutanlage hat das Potential einer solchen Maschine für eine effiziente Erbrütung von abgestreiften Eiern aufgezeigt. Eine solche Maschine lässt sich problemlos skalieren und für größere Produktionen anpassen. Die hinzugekommenen Mischkulturversuche haben zudem die Möglichkeit aufzeigen können, wie eine Produktion und Nutzung des Edelkrebse wirtschaftlich umgesetzt werden könnte.

## Berichte und Veröffentlichungen

### Veröffentlichungen

Ende des Jahres 2014 wurden zwei Manuskripte veröffentlicht und drei weitere sind in Arbeit, deren Veröffentlichung im Jahr 2016 angestrebt wird. Weitere Manuskripte zu einem Wachstumsmodell und der Wirtschaftlichkeit einer Krebszucht sind geplant.

- Seemann, U.B., Lorkowski, K., Slater, M.J., Buchholz, F., Buck, B.H., 2014. Growth performance of Noble Crayfish *Astacus astacus* in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture International*. 23, 997-1012 (s. Anlage 1).
- Seemann, U.B., Lorkowski, K., Schiffer, M., Hörterer, C., Slater, M.J., Buck, B.H., 2014. Survival of early stripped eggs of the noble crayfish *Astacus astacus* and effects of saline solution during artificial incubation. *Freshwater Crayfish*. 20, 1-6 (s. Anlage 2).
- Seemann et al., 2016. Feed alternatives for noble crayfish *astacus astacus* based on fatty acid and lipid analyses. In prep.
- Seemann et al., 2016. Shelter preference of European crayfish *Astacus astacus* reared in recirculating aquaculture systems. In prep.
- Kröncke et al., 2016. Polyculture potential of red Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and noble crayfish (*Astacus astacus*) in a recirculating aquaculture system. In prep.

### Veranstaltungen

Im Folgenden werden die wesentlichen Veranstaltungen, auf denen die Projektergebnisse vorgestellt wurden, zusammengefasst.

## 2013

- Konferenz „Youmares“, Oldenburg: Growth & feed composition of noble crayfish  
A comparison of RAS to pond systems (Gastvortrag mit Eröffnung der Session  
„Fish Feeds the World“).
- Konferenz „Youmares“, Oldenburg: Noble Crayfish in RAS – Development of a  
Backwash-system for the use of natural substrate (Poster).
- Lehrgang „Flusskrebse“,  
Echem: Wachstum und  
Futterkomposition des  
Europäischen Edelkrebse –  
Ein Vergleich von RAS und  
Teichsystemen (Gastvortrag).
- Seminar „Umweltschutz und  
Kreislauftechnologie“,  
Bremerhaven: Das Zentrum  
für Aquakulturforschung als  
Beispiel für rezirkulierende Aquakultursysteme und des Projektes AStRa“  
(Seminar und Führung zusammen mit dem BUND Bremen)
- Tagung „POLMAR Evaluation Day“, Bremerhaven: Astacus Stock Raise (AStRa) –  
Nobel crayfish in RAS – Growth performance – Food ratio and fatty acids  
composition (Poster).
- Workshop „Aquaculture forum“, Bremerhaven: Nobel Crayfish in RAS - A  
comparative study to pond systems (Poster).



Abbildung 1 Bildungsseminar mit dem BUND Bremen

## 2014

- Messe „Fish International 2014“), Bremen: Ausstellung von Edelkrebsen und  
Vortrag zur Kultur von Flusskrebsen in geschlossenen Kreislaufsystemen am  
Beispiel des Edelkrebse.
- Konferenz „EAS 2014“, San Sebastian, Spanien: Growth performance of Noble  
crayfish *Astacus astacus* in recirculating aquaculture systems (Poster).
- Vorlesung Maritime Biotechnologie an der HS Bremerhaven, Bremerhaven:  
AStRa - Astacus Stock Raise. (Vortrag).



## 2015

- Seminar "Tress&Tress Präsentationen", Bremerhaven: "Astacus Stock Raising" (AStRa) (Vortrag)
- Konferenz "European Crayfish Conference", Landau: Growth performance of noble crayfish in indoor facilities (Vortrag + Book of abstracts)
- Konferenz "Crustaceologen-Tagung 2014", Bremerhaven: Growth performance of noble crayfish in indoor facilities (Vortrag + Tagungsband).
- Vorlesung Maritime Biotechnologie an der HS Bremerhaven, Bremerhaven: AStRa - Astacus Stock Raise (Vortrag).
- DBU Stipendiaten-Besuch, Bremerhaven: Growth Performance of Noble Crayfish in Indoor Facilities (Vortrag).

Bei allen Präsentationen wurde die DBU als Fördergeber mit Hinweisen und Logos entsprechend der Fördervorgabe genannt.

## Berichte

Die während der Projektlaufzeit zum Projekt veröffentlichten Berichte werden in Stichpunkten zusammengefasst:

- DBU Pressemitteilung, 05/2012, Natürliche Bestände schonen: DBU fördert nachhaltige Edelkrebszucht.
- Agrar - Informationszentrum für die Landwirtschaft, 05/2012, Edelkrebszucht soll Wildbestände schonen.
- Forschungsinformationssystem Agrar / Ernährung, 05/2012, AStRa - Astacus stock raise.
- Radiobremen, 05/2012, Förderung für Edelkrebs-Forschung.
- imare Website Projektbeschreibung , 05/2012, AStRa - Astacus stock raise.
- Nordseezeitung, 05/2012, 300 000 EURO zur Erforschung von Krebsen. Deutsche Bundesstiftung Umwelt unterstützt Imare-Projekt. Krebse sollen in Flüssen angesiedelt werden.
- Leine Zeitung, 06/2012, Astacus wird Forschungsprojekt.
- Leine Zeitung, 06/2012, Nicht jeder will ihm Gutes tun & Wo der Krebs verstecken spielt.
- Fischmagazin, 07/2012, Bremerhaven: Edelkrebse aus der Kreislaufanlage.

- Nordseezeitung, 07/2012, Junge Edelkrebse sind eingezogen. Imare untersucht Züchtung in Aquakulturanlagen – Rund 200 Tiere geholt – Wiederansiedlung von Gewässern im Hinterkopf.
- Fischmagazin, Ausgabe 03/2014, Praxisrelevante Forschungen am Edelkrebs.
- Magazin Land erleben, Ausgabe Februar/März, Mini-Hummer aus Poggenhagen.
- Crayfish News, Volume 35, Crayfish Workshop: Status quo of the crayfish *Astacus astacus* in Lower Saxony and Bremen, Germany.
- Leine Zeitung, 06/2014, Nur Nutzung schützt den Edelkrebs. Forscher vergleicht Poggenhagener Teichaufzucht des *Astacus astacus* mit aufwendiger Hallenhaltung.
- Weser Kurier, 05/2013, Der Krebsflüsterer. Helmut Harms aus Leeste züchtet in seinem Garten den Edelkrebs *Astacus astacus*.

### Lehre

Das Projekt engagierte sich weiterhin in der **Lehre** durch die aktive Einbeziehung von Studenten in Form von Praktika und Abschlussarbeiten. Im Projekt wurden insgesamt **vier Masterarbeiten**, zwei Projektierungen und vier Praktika erfolgreich durchgeführt und vom Projektleiter betreut.

### Abschlussarbeiten

- Lorkowski, 2012: Aufbau eines Hälterungssystems für den Europäischen Edelkrebs (*Astacus astacus*) und Untersuchungen zum Futtermanagement (Masterarbeit) (s. Anlage 3).



Abbildung 2 Versuchssysteme

- Jähne, 2014: Kultur des europäischen Edelkrebse (*Astacus Astacus*) in landbasierten Kreislaufsystemen: Größenklassensortierung und technische Anpassungen zur Verbesserung der Kulturbedingungen (Masterarbeit) (s. Anlage 4).
- Kröncke, 2014: Polykultur von Edelkrebsen (*Astacus astacus*) und Red Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) – Untersuchungen zur Nährstoffausnutzung und zur Entwicklung von Edelkrebsen und Tilapien in einer integrierten Aquakultur (Masterarbeit) (s. Anlage 5).
- Bünning, 2015: Einfluss des Lichtes auf das geschlechterspezifische Häutungsverhalten des europäischen Edelkrebse *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758) (Masterarbeit) (s. Anlage 6).

## Material und Methoden

Im Folgenden wird auf die einzelnen Forschungsschwerpunkte Futtermanagement, Systemdesign, Territorialverhalten und Reproduktion und Mischkulturen eingegangen.

Für die Versuche wurden folgende Systeme verwendet:

- Regalsystem 1 (RS1) bestehend aus neun Kompartimenten mit einem Gesamtvolumen von 2 m<sup>3</sup>; genutzt für Futter- und Technikversuche (Systemrückspülung, doppelter Boden und Kompartimentierung).
- Regalsystem 2 (RS2) bestehend aus drei Kompartimenten mit einem Gesamtvolumen von 7 m<sup>3</sup>; genutzt für Reproduktions-, Wachstums-, Polykultur- und Technikversuche (Systemrückspülung, doppelter Boden, Kompartimentierung).
- Regalsystem 3 (RS3) bestehend aus bis zu 32 Kompartimenten mit einem Gesamtvolumen von 2 m<sup>3</sup>; genutzt für Aufzucht juveniler Krebse und Einzeltierhaltung.
- Regalsystem 4 (RS4) bestehend aus zwölf, später 18 Kompartimenten mit einem Gesamtvolumen von 2-3 m<sup>3</sup>; genutzt für Langzeitversuche.
- Kreislaufsystem 2.1 bestehend aus drei Tanks mit einem Gesamtvolumen von 4 m<sup>3</sup>; genutzt für Polykulturversuche (in Abb. 2 nicht dargestellt).
- Kleinstsysteme bestehend aus drei oder mehr Replikaten mit je 10 Liter Volumen; genutzt für Verhaltensbeobachtungen und Einzeltierhaltung.
- Reproduktionssysteme mit bis zu 18 Replikaten für Eierbrütungsversuche.

- Reproduktionssysteme mit bis zu 40 Replikaten für Eierbrütungsversuche.

Der Aufbau eines geschlossenen Kreislaufsystems wird am Beispiel des RS1 dargestellt, hier dargestellt mit der Rückspüleinheit (vgl. Abbildung 3 und 4). Alle Regalsysteme wurden ausgestattet mit einer Klimatisierung, Grob- und Feinfiltern, einem Biofilter und einer UV-Klärung. Alle Komponenten sind ausgelegt auf das jeweilige Systemvolumen. Das Kreislaufsystem 2.1, ausgelegt auf eine höhere Systembelastung und -ausnutzung, verfügt zudem über eine Denitrifikation, einen Ozon-Abschäumer und eine Rieselentlüftung und wurde daher für die Polykulturversuche eingesetzt (s. Abb. 9 und 10). Die einzusetzende Technik und Dimensionierung einer Krebs-/ Fischkultur müsste in einem Produktionssystem auf die einzusetzenden Arten angepasst werden.

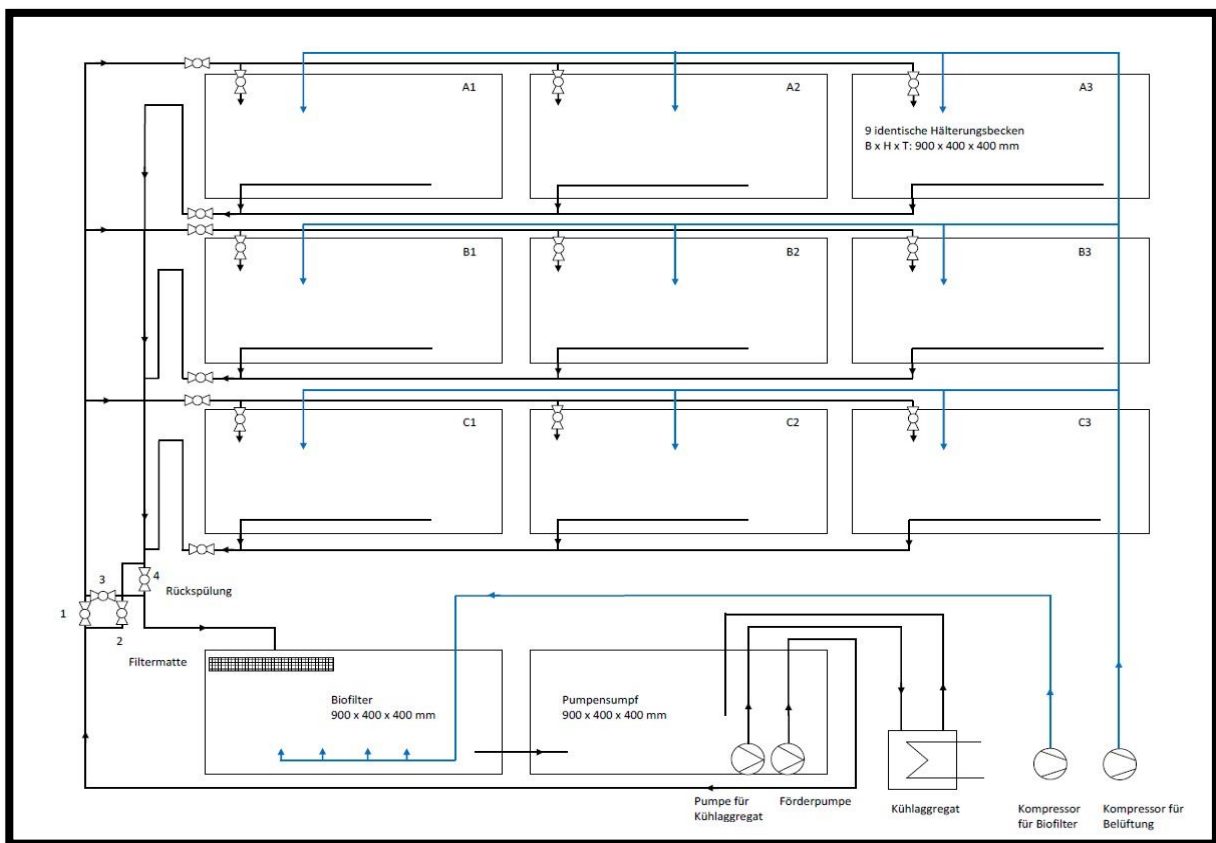


Abbildung 3 Fließschema des Regalsystems 1

**Wachstumsversuche** wurden je nach Größe und angestrebter Besatzdichte in allen Regalsystemen durchgeführt und soweit möglich in Intervallen mit Fütterungsautomaten verschiedener Hersteller und Größen durchgeführt, um dem Nahrungsaufnahmeverhalten der Tiere gerecht zu werden. Folgende Futtermitteln wurden verwendet: Ovator Karpfenfutter Cyprin K2 25/7, K2E 19/2,5 und K3 16/5 sowie Astax 44/22, Emsland-Aller Aqua Aller Classic und Aller Futura EX, ein

Shrimpversuchsfutter 42/9, Dennerle CrustaGran und CrustaGran Baby, der Eigenmix mit verschiedenen Proteingehalten und verschiedene Coppens-Futtermittel für die Polykulturversuche. Vermessen wurden die Tiere i.d.R. alle zwei Wochen. Dabei wurden die Tiere je Becken mit Größe, Gewicht, Farbe, Besonderheiten und ggfls. Nummer zur individuellen Zuordnung vermessen. Nach Beckenentleerung wurden diese gereinigt und die vorherige Versteckverteilung wieder hergestellt. Bei größeren Individuenzahlen pro Becken wurden die Tiere hälftig abgefischt und wieder zurückgesetzt, um die Zeitdauer der Tiere außerhalb der Becken und dadurch verursachter Stress möglichst gering zu halten.

Um Aussagen über eine mögliche Größenseparierung zur Reduzierung von Verlusten treffen zu können, wurden "**Gradingversuche**" (Sortierversuche) innerhalb eines Jahrganges im RS1 durchgeführt. Die Besatzdichte wurde mit verschiedenen Altersklassen und Dichten getestet.

Zur **Beleuchtung** kamen zunächst Leuchtstoffröhren in den Systemen RS1-RS3 zum Einsatz, die im weiteren Verlauf und in hinzukommenden Systemen durch steuerbare LEDs ersetzt wurden. Die Gründe dafür sind wirtschaftliche Aspekte und beruhen zudem auf Untersuchungen zum Wachstumsverhalten mit unterschiedlichen Beleuchtungsquellen.

Beim **Anlagen- und Beckendesign** lag das Hauptaugenmerk auf der Erarbeitung einer effizienten Faecesabfuhr aus den Becken, da diese bei den bodenlebenden Krebsen sonst zur Verschlammung des Bodens und nicht optimalen Haltungsbedingungen führt, die im weiteren Verlauf auch die Systemstabilität beeinflussen kann. Hierzu wurden Anpassungen und Versuche mit zum Beispiel einem doppelten Boden und eingebauter Rückspülung, einem Mulchschieber nebst Absaugung und einem Saugroboter in den Systemen RS1 und RS2 durchgeführt.

Zudem wurde für die **Nachzucht**, die nur 1x im Jahr artbedingt durchgeführt werden konnte, zwei Erbrütungssysteme gebaut und eingesetzt. Dabei wurde das im ersten Jahr verwendete System aufgrund seines Handlings und der Größe verworfen und für das Folgejahr ein neues System nach Vorlage der Schweizer Kollegen (B. Pasini, ZHAW) entworfen und erfolgreich eingesetzt (vgl. Abbildung 2, Bild 6 und 7 und Anlage 7). Verbesserungspotentiale wurden dabei im Dauereinsatz bei Verschleißteilen aufgezeigt, die die Langlebigkeit des Systems erhöhen können. So zeigten die bewegten Teile (insbesondere gummierte Bauteile) deutliche Abrieberscheinungen im 24-

Stundenbetrieb. Diese Teile sollten zukünftig durch stabilere/festere Ausführungen ersetzt werden.

Aufgrund der sich nicht abzeichnenden Wirtschaftlichkeit einer reinen Monokultur in RAS wurden anfangs nicht vorgesehene **Polykulturversuche** geplant und durchgeführt. Da eine im Idealfall bereits bestehende Produktion einer Aquakulturart schon eine bestehende Infrastruktur voraussetzt und nur noch mit Kosten für Systemanpassungen und variablen Kosten für die Krebse zu rechnen ist, erschien die Wirtschaftlichkeit hier besser erreichbar zu sein, als in einer Monokultur. Aufgrund der Verfügbarkeit wurden Red-Nile Tilapien eingesetzt, die zwar vom Temperaturoptimum nicht im Bereich des Edelkrebse liegen, aber als Zeigerorganismus sehr gut geeignet sind.

Im Rahmen der **genetischen Analysen** sollte gezielt auf folgende Fragestellungen eingegangen werden:

1. Genetische Diversität: Wie divers sind die einzelnen Satzkrebszuchten? Bedingt durch artifizielle Halterungsbedingungen und dem möglichen Risiko einer genetischen Verarmung ist eine eher geringere genetische Diversität im Vergleich zu natürlichen Populationen zu erwarten. 2. Genetische Integrität: Inwieweit entsprechen die Zuchtbestände in ihrer genetischen Ausstattung ihren angestammten Gewässersystemen (Flusseinzugsgebiete: Eider, Weser)? Um die verschiedenen Fragestellung bearbeiten zu können, wurden zwei molekulare Marker, mitochondriale DNA-Sequenzen und Mikrosatelliten, kombiniert verwendet. Während sich das mitochondriale Genom gut für phylogenetische Studien (taxonomische Identifikation) eignet, werden Mikrosatelliten besonders für populationsgenetische Diversitätsbestimmungen genutzt und wegen ihrer kodominanten Vererbung und dem hohen Informationsgehalt und Auflösungsvermögen gegenüber anderen Markern bevorzugt (Selkoe, 2006).

Für die **Wirtschaftlichkeitsanalyse** wurden die gewonnenen Daten zu Wachstum, Futter und -mengen, System- und Beckengröße und Arbeitseinsatz neben möglichen Bezugsquellen zur Preisermittlung zur Verfügung gestellt.

## Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

### Futtermanagement

Die gemessenen **Wachstumsraten** für den Edelkrebs fallen je nach Jahrgang und Alter unterschiedlich aus. Im Vergleich zu der Wachstumsrate von Krebsen aus einer Teichanlage über 1 ½ Jahre (SGR 1,33 %) wachsen die Krebse in einer geschlossenen Aquakulturanlage mit 1,60 % schneller heran. Hierfür wurden verschiedene Industriefutter getestet, die aber nicht die genannte Wachstumsrate erreichten (vgl. Anlage 1). Erst ein eigens für den Edelkrebs produziertes Versuchsfutter erzielte die Wachstumsrate (SGR) von 1,60 %. Anzumerken ist jedoch, dass die Größenzunahmen in RAS immer mit während der Sommerzeit gewonnenen Teich-Werten verglichen wurden. Da der Edelkrebs je nach Witterung in einer Teichkultur nur in den Monaten Mai-Oktober wesentlich an Gewicht und Größe zunimmt, fällt das Wachstum mit den Industriefuttermitteln über das Jahr gerechnet besser aus. Die **Fütterung** der Tiere wurde in Intervallen zwischen 21 – 03 Uhr durchgeführt bzw. je nach Beleuchtungsdauer vor/nach der (künstlichen) Dämmerung über Futterautomaten eingestellt. Die Menge an zugeführtem Futter betrug dabei 2,5 – 5,0 % der Biomasse/Tag, je nach Alter der Tiere und Futterzusammensetzung. Ein **Grading** (Sortierung) innerhalb eines Jahrgangs und Jahres scheint entgegen unserer Annahme anhand der gewonnenen Daten nicht sinnvoll. Ein Grading zwischen den Jahrgängen ist hingegen zu empfehlen, da hier mit deutlichen Wachstumsunterschieden und zunehmenden Verlusten zu rechnen ist, die sich auch unabhängig von Häutungsereignissen ereignen. Die **Beleuchtungsdauer** mit LEDs (6.500K) lag mit einer Intensität von  $5 \mu\text{mol phot m}^{-2} \text{s}^{-1}$  an der Oberfläche und  $2 \mu\text{mol phot m}^{-2} \text{s}^{-1}$  am Boden bei 16 Stunden inkl. einer voran- bzw. nachgeschalteten Dimmung. Eine einfache Zeitschaltung (an/aus) wird nicht empfohlen, da die Tiere ein schreckhaftes Verhalten bei schnellen Belichtungsverhältnissen zeigten.

### Systemdesign

Das Wachstum ist neben dem Futter auch abhängig vom der Größe / dem Alter der Tiere, dem Beckendesign und dem eingesetzten Bodengrund. Hierzu wurden Versuche durchgeführt, bei dem z.B. bessere Wachstumserfolge mit mehrschichtigem Bodengrund erzielt wurden (s. Bilder Regalsystem). Da aber bereits in einschichtigem Bodengrund schwer zu kontrollierende, nicht erwünschte, anaerobe Prozesse stattfinden, besteht die

Notwendigkeit, strukturierte Oberflächen und / oder Bereiche mit einfachem, grobem Sediment zu schaffen.

Der Einsatz solcher Strukturen ist dabei stark abhängig vom **Anlagendesign**. Die beste Möglichkeit für Tiere mit einer Größe ab ca. 2,5 cm ist nach jetzigem Kenntnisstand die Verwendung eines doppelten Bodens oder der Einsatz von Körben, um den Beckengrund auch in einem großen System problemlos reinigen zu können. Dabei ist auch aus wirtschaftlichen Gründen die Vergesellschaftung mit einer Fischart sinnvoll, die u.a. durch die Eigenbewegung zusammen mit der einzustellenden Strömung für die Faecesabfuhr aus der Hälterungseinheit sorgen (vgl. *Mischkultur*). Die Reinigung eines Systems für kleinere Krebse (bis 2,5 cm) lieferte mit einer aktiven Saug- und Rückspülung sowie einem angepassten Drainagesystem unter einem doppelten Boden gute und signifikant bessere Austragungsraten. Eine manuelle Reinigung ist damit mit deutlich längeren Zeitintervallen für Beckenvolumina bis 500 Litern möglich (s. Abbildung 3 und 4).

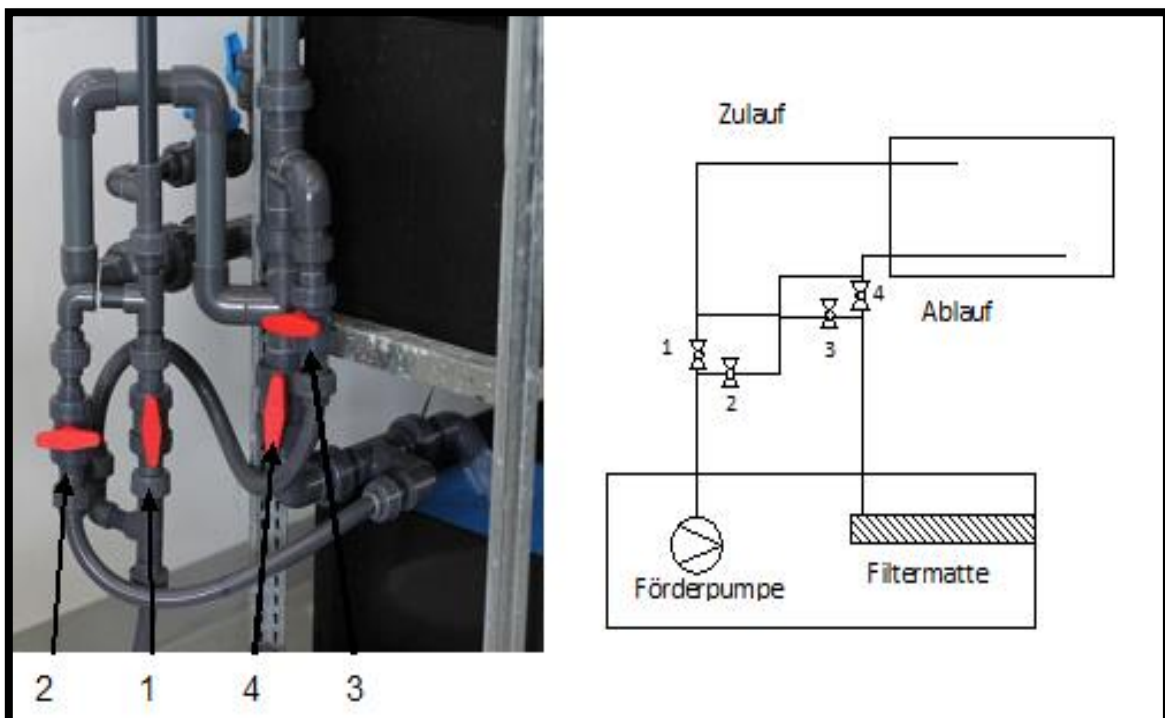


Abbildung 4 Rückspülung mit zugeordneten Hähnen und Fließschema.

Das **Beckendesign** für den Edelkrebs muss grundsätzlich Raum für Versteckmöglichkeiten, Futterplätze und freie Flächen für Häutungsprozesse vorsehen. In Anbetracht einer ökonomisch sinnvollen Kultur von Fischen und Krebsen wird das Beckendesign dabei von der einzusetzenden Fischart bestimmt, wobei (halb-) runde Becken aufgrund der Strömungsverhältnisse und der möglichen Besatzdichten von z.B.



Barschartigen zu bevorzugen sind (vgl. *Mischkultur*). Die in Abbildung 7 gezeigte Hälterungseinheit diene der Zuordnung der kleinen Versuchsgruppen und wäre bei einer größeren Produktion durch entsprechend größere Haltungseinheiten/Becken zu ersetzen. Anzumerken ist, dass Jung- wie auch Altkrebse sehr gute Kletterer sind und die Beckenumrandung daher ausreichend hoch und glatt sein sollte, um ein Herausklettern zu verhindern. Auch dürfen keine Schläuche oder Kabel ohne Kletterschutz in das Becken führen.

Als **Verstecke** haben sich leicht zu reinigende PVC-Röhren für Tiere ab ca. 1 ½ Jahren am besten geeignet (s. Abb. 5); aus diesen lassen sich die Krebse bei Bedarf auch sehr einfach entnehmen. Jungtiere hingegen bevorzugen grobe Filterwolle, die zudem bei

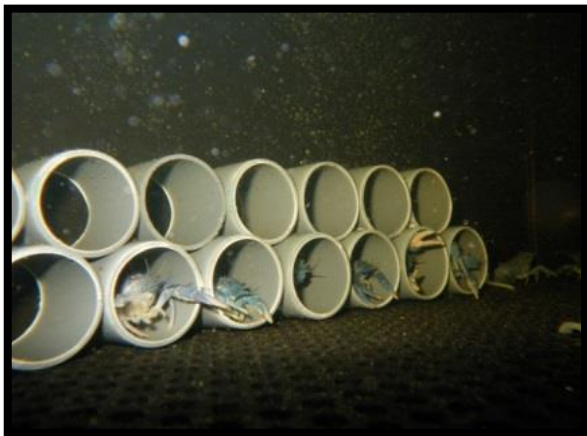


Abbildung 5 PVC-Verstecke für den Edelkrebs mit darunter liegender Lochplatte als 2ter Boden.

angehendem Bewuchs als „Nahrungswiese“ genutzt wird. Alternativ lassen sich auch hier PVC-Röhren verwenden, am besten in Kombination mit Filterwolle. Verluste von frisch gehäuteten „Butterkrebsen“ durch Kannibalismus lassen sich dadurch ebenfalls reduzieren. Ein Verhältnis von ca. drei Verstecken/Tier sollte berücksichtigt werden. Die Verstecke können in zwei bis

maximal drei Ebenen (Versatz beachten) eingebracht werden, wobei die Akzeptanz zu den oberen Ebene abnimmt.

Die **Besatzdichte**, zusammengefasst aus allen Versuchen, liefert gute Ergebnisse mit 10-30 dreijährigen Tieren pro m<sup>2</sup> und bis zu 30-70 Ein- bis Zweijährigen pro m<sup>2</sup>. Juvenile Tiere wurden mit Besatzdichten zwischen 100-200 Tieren/m<sup>2</sup> verlustfrei gehalten.

Nach den jetzigen Erkenntnissen ist das vielversprechendste **Systemdesign** ein aus drei Kreisläufen bestehendes System für 1. die Reproduktion, 2. die Aufzucht und 3. das Abwachsen der Tiere. Das Abwachsen der Tiere ist bei einer wirtschaftlichen Zucht in Teiche auszulagern, die deutlich kostengünstiger bewirtschaftet werden können. Alternativ kann eine Mischkultur mit anderen Arten bzw. die Integration des Edelkrebses in eine bestehende Produktion erfolgen und die Produktion so wirtschaftlich werden (vgl. *Wirtschaftlichkeit* und Bericht *Wirtschaftlichkeitsanalyse*). Ein viertes System ist ggfls. für das Halten eines Elterntierbestandes nötig und bietet

gegenüber der herkömmlichen Teichhaltung im Hinblick auf eine gezielte Zucht deutliche Vorteile.

### Reproduktion

Die **Nach- und Aufzucht** der Tiere wurde insgesamt zweimal durchgeführt und war beide Male erfolgreich. Die Verpaarung und die Reproduktion selbst verliefen mit einer Rate von ca. 80 % zufriedenstellend. Problematisch war die Reifung der Eier an den Muttertieren im 2. Jahr; hier ging eine hohe Zahl an Eiern vor der Überführung in die Brutanlage verloren. Versuche mit bei den Muttertieren verbleibenden Eiern über den gesamten Zeitraum verliefen ebenfalls nicht zufriedenstellend; hier gingen zu einem frühen Zeitpunkt über 95 % aller Eier verloren. Die Gründe dafür können vielschichtig sein und wurden auch von anderen Züchtern berichtet. Möglicherweise ist die Stressanfälligkeit der Muttertiere als auch der richtige Zeitpunkt der Verpaarung im Zusammenhang mit dem richtigen Licht- und Temperaturregime ausschlaggebend (s. S. 20 „Ergebnisse von dritter Seite“), weshalb ein Abstreifen der Eier zur separaten Erbrütung empfohlen wird.



Abbildung 6 Jungtiere aus RAS Nachzucht

Die Verpilzung der Eier in der gebauten, zweiten **Brutanlage** (s. Abb. 2 unten) war nach Abstreifen von den Muttertieren in allen Versuchsdurchläufen minimal (< 2 %). Jedoch kam es zu Fehlentwicklungen in Höhe von ca. 50 % und zu einer entsprechend niedrigen Schlupfrate. Die Gründe dafür vermuten wir aufgrund der erfolgreicherer Erbrütung im Vorjahr bei den angesprochenen Parametern der



Abbildung 7 Hälterungseinheit für abwachsende Jungtiere.

Verpaarung. Die Überlebensrate der geschlüpften Tiere im Hälterungssystem mit einem Krebsfuttermix lag bei > 95 % und ist damit zufriedenstellend (s. Abb. 6). Als Empfehlung wird die Verwendung einer in Anlage 7 dargestellten Brutanlage empfohlen.

## Mischkultur

Eine ressourcenschonende und damit auch wirtschaftlich interessante Möglichkeit für die Zucht in RAS als auch in Teichanlagen ist die **Vergesellschaftung** des Edelkrebses mit einer Fischart. Dadurch werden nicht nur die Ressourcen Platz, Futter und Arbeitskraft /-zeit effizienter genutzt, sondern auch bestehende Fragen in Monokultur beantwortet. So wird die Durchmischung der Wassersäule erreicht und das Problem der sonst technisch aufwendigen oder arbeitsintensiven Feststoffentfernung gelöst. Im Rahmen des



Abbildung 8 Polykulturkandidaten Red-Nile Tilapia und Edelkrebs.

Projektes war es möglich, entsprechende Vorversuche durchzuführen. Ein solches Polykultursystem, bestehend aus z.B. einer eingerichteten Kreisströmung und einer aktiven Fischart, führt zu einer vollständigen Feststoffentfernung bei gleichzeitig verbesserter Feststoffverwertung. Im Modellversuch wurde der Edelkrebs mit dem Red-Nile Tilapia vergesellschaftet, wobei keinerlei Wachstumseinbußen bei beiden Arten gegenüber der Monokultur festgestellt werden konnten (s. Abb. 8). In Anbetracht der



Abbildung 9 Kreislauf 2.1.

Kostenfaktoren ist der Einsatz eines Polykultursystems unserer Meinung nach angesichts der hohen Entstehungs- und Fixkosten obligatorisch für eine wirtschaftliche Edelkrebszucht in RAS als auch in anderen Kreislaufsystemen (vgl. *Wirtschaftlichkeit*). Dabei sind auch Mischkulturen mit Algen und Muscheln denkbar (s. Ausblick).

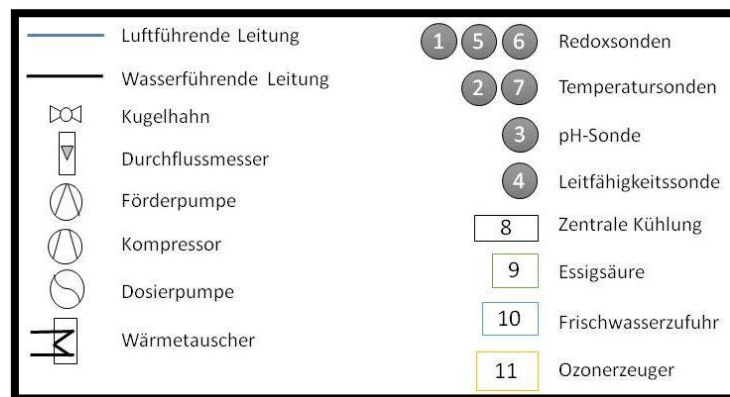
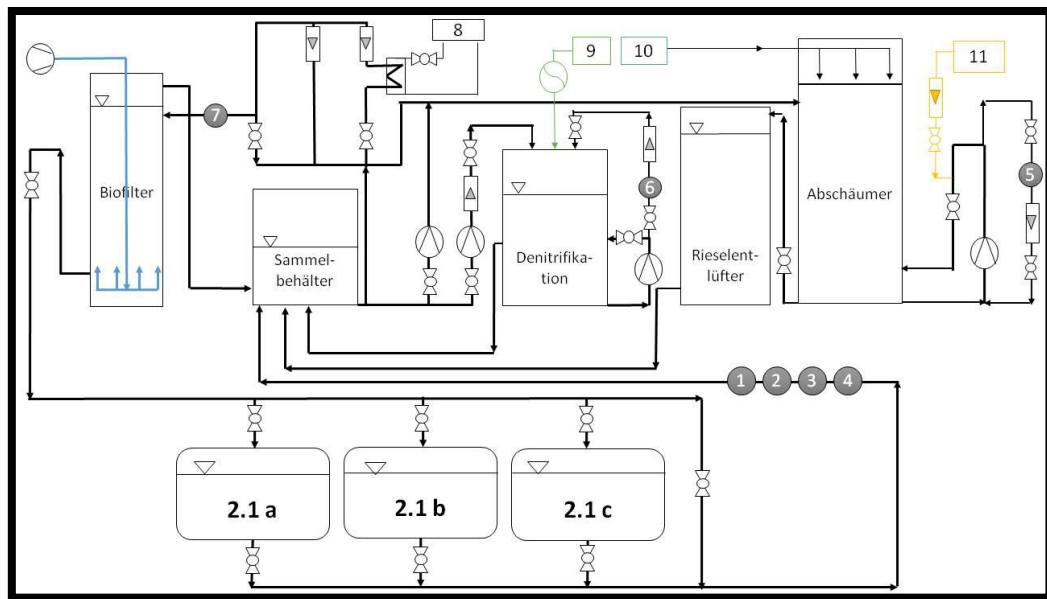


Abbildung 10 Fließschema des Kreislaufsystems 2.1

## Genetische Eignung

Die Universität Landau kommt nach ihren Analysen zu dem Schluss, dass der Stamm der verwendeten Tiere des Projektpartner Göckemeyer aufgrund seiner genetischen Aufstellung her sehr divers ist und sich gut für Besatzmaßnahmen in Norddeutschen Flusseinzugsgebieten eignet. Der genutzte Stamm wurde anhand der Analysen dem Eider- und Wesereinzugsgebiet (Harzer Stamm) zugeordnet, wobei ein Einfluss von Tieren aus der „Keller-Zucht“ (Süddeutschland) nicht ausgeschlossen werden kann. Weiterhin wurde festgestellt, dass ein weiterer nur noch beim Projektpartner bestehender Edelkrebss Stamm wertvolle genetische Informationen aufweist und die Erhaltung durch Nachzuchten dieser Population besonders sinnvoll ist (s. Anlage 8: Bericht *Genetische Charakterisierung der Edelkrebszucht*). Dies wäre durch eine selektive Zucht in Kreislaufsystemen möglich und nötig, da auch die insgesamt in Deutschland bestehenden Teichanlagen nicht ausreichen werden, um Wiederansiedlungsprojekte

und populationsstützende Maßnahmen mit sehr hohem Bedarf an Jungtieren zu decken (Polivka, 2010). Zudem wird der Solling-Stamm in der Teichanlage in direkter Nähe zum Harzer-Stamm gehalten und reproduziert. Tiere können die wenigen Landmeter problemlos überqueren und zur Vermischung der beiden genetisch noch unterschiedlichen Stämme führen. Eine getrennte Haltung beider Stämme wird empfohlen, um die hohe Anzahl an Haplotypen und Allelen zu erhalten. Geschlossene Nachzuchtssysteme bieten den Vorteil, dass dort eine selektive Nachzucht möglich ist, um autochthone Stämme gezielt zu vermehren und so die Biodiversität auch innerartlich zu schützen. Auch die Einschleppung von Krankheiten ist deutlich geringer, die Möglichkeit der Kontrolle der Tiere im Vergleich zu einem Teich ungleich höher. Der Gedanke, überregionale Nachzuchtbemühungen in einer Nachzuchtstation zu bündeln und so effizienter umsetzen, liegt nahe. Dies würde zudem auch geringere Kosten für Fläche, Infrastruktur und Arbeitskräfte einer solchen Anlage bedeuten.

### Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Aquakulturanlage zur alleinigen Zucht von Speisekrebsen, durchgeführt von Herrn Ebeling, kommt zu dem Schluss, dass diese bedingt durch die hohen Entstehungs- und Produktionskosten in einem RAS zum einen und die Wachstumszeit zum anderen trotz des hohen Marktwertes nicht gegeben ist (s. Anlage 9 Wirtschaftlichkeitsanalyse). Die zu erzielenden Preise müssten bei ca. 20 EUR/Tier (> 100g/Tier) liegen und lägen deutlich über den aktuellen Marktpreisen von ca. 7 EUR/Tier für größere Absatzmengen.

Alternativ bestehen für eine ökonomisch erfolgreiche Zucht zwei Möglichkeiten: 1. könnte der Edelkrebs nach der Zucht, dem Vorziehen und dem 1-1½-jährigen Abwachsen in Teichanlagen oder Gewässern eingesetzt werden. Die für ein solches System nötigen Entstehungskosten wären deutlich geringer als die vollständige Zucht in einem RAS. Solange keine krebspestresistenten Edelkrebsstämme existieren, müssten diese Gewässer aber gesichert werden, um das Risiko einer Einschleppung zu reduzieren (u.a. durch Flugnetze und Zäune). Zudem bestünde die Möglichkeit, gezielt Nachzuchten von z.B. autochthonen Stämmen zu produzieren, im besten Fall mit mehreren Teichanlagenbetreibern, die ein solches Zuchtssystem gemeinschaftlich betreiben (vgl. Genetische Eignung). 2. könnte der Edelkrebs in ein idealerweise bereits bestehendes Produktionssystem integriert werden, so dass die Entstehungskosten (Systemanpassungen) gering ausfallen und weiterhin die variablen Produktionskosten

zum Tragen kommen. Besonders interessant erscheint die Ko-Nutzung von Karpfenteichen. Hier kommt die Analyse zu dem Schluss, dass nach Aussetzen der Tiere in die Teiche mit Gesamtkosten von 5,55 EUR pro Speisekrebs gerechnet werden kann, inkl. der Kosten i.H.v. 2,30 EUR für die Reproduktion und das Vorziehen der Tiere. Angesichts des Marktpreises von ca. 7 EUR/Speisekrebs könnte sich eine solche Mischkultur rechnen. Alternativ dazu könnte der Edelkrebs auch in einer RAS-Polykultur wirtschaftlich produziert werden. In einem solchen System ließen sich dann auch Krebsarten wie zum Beispiel der ebenfalls bedrohte Galizische Sumpfkrebs produzieren, deren Produktion hierzulande im Freiland nicht möglich ist.

### **Ergebnisse von dritter Seite**

Mit der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW, Herrn B. Pasini) wurde ein regelmäßiger Gedanken- und Erfahrungsaustausch betrieben, v.a. zum Futtermitelesatz und der Reproduktion. So bestätigen die Ergebnisse der Schweizer Forschergruppe insgesamt unsere Erkenntnisse bzw. Probleme. So trat für den Reproduktionszyklus 2013/2014 auch bei den Kollegen ein radikaler Eiverlust beim Edelkrebs auf. Da die Krebse dort auf natürliche Weise gepaart und reproduziert werden, besteht die Möglichkeit, dass der Ursache identische Parameter zugrunde liegen, nämlich eine verspätete Paarung der Elterntiere im Vergleich zum erfolgreichen Vorjahr. Der Austausch über das verwendete Filtermaterial erwies sich in unseren Versuchen als ideal, um in Aufzuchtbecken und teilweise auch in Kulturbecken die Besatzdichte zu erhöhen.

Weiterhin wurden potentielle Investoren durch Pressemitteilungen auf das Projekt aufmerksam, wobei sich diese eine deutlich geringere Produktionszeit erhofften und entsprechend zurückzogen bzw. sich anderen Aquakulturkandidaten zuwandten.

### **Folgeprojekte**

Auf Grundlage der Projektergebnisse wurde zur Nutzung des Edelkrebse als Co-Art in einem wirtschaftlichen Polykultursystem das Industrieprojekt „AquaMoNa“ beim Fördergeber Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand (ZIM) des BMWi eingeworben. Das Projekt validiert die Möglichkeit einer Mischkultur aus vier Arten (Fische, Krebs, Nutzpflanze und Mikroalge) in einem Aquaponik-System unter Berücksichtigung der ökologischen Ansprüche und der optimalen Futter- und

Nährstoffverwertung mit dem Ziel einer bestmöglichen Ressourcennutzung. Weiterhin befinden sich vier Projektideen, die u.a. die im Ausblick genannten Forschungsthemen aufgreifen und in denen Flusskrebse eine Rolle spielen, in der Begutachtung bei verschiedenen Fördergebern.

### **Ausblick**

Als Ausblick und zukünftige Herausforderungen liegen folgende, zukünftige (Forschungs-) Themen nahe: 1. die Eignungsprüfung von in Kultur produzierten Flusskrebsen für Widerbesatzmaßnahmen, 2. Mischkulturen des Edelkrebses in Teichanlagen und geschlossenen Kreislaufsystemen (s. u.a. Projekt AquaMoNa), 3. Feststellung des optimalen Geschlechterverhältnisses beim Abwachsen der Krebse im Hinblick auf Verluste (und deren Wachstumsraten), 4. die Evaluierung/Zucht von krebspestresistenten Edelkrebsstämmen und 5. die überregional koordinierte Nachzucht verschiedener Krebsstämme in einer geschlossenen Kreislaufanlage.

Das Dokument mit Anlagen und Anhängen liegt in digitaler Form auf der beigelegten CD vor.

Datum

Projektleiter

## Literaturverzeichnis (Auszug)

- Ackefors H, Castell JD, Boston LD, Råty P, Svensson M (1992) Standard experimental diets for crustacean nutrition research. II. Growth and survival of juvenile crayfish *Astacus astacus* (Linné) fed diets containing various amounts of protein, carbohydrate and lipid. *Aquaculture*, **104**, 341-356.
- Ackefors H. LOV (1994) Cultivation of Freshwater Crayfishes in Europe. In: *Freshwater Crayfish Aquaculture in North America, Europe, and Australia: Families Astacidae, Cambaridae, and Parastacidae* (ed by Huner JV). Food Products Press, Binghamton, pp. 157-216.
- Albrecht H (1977) Comparative Studies of Egg Proteins of *Astacus-Astacus* and *Astacus-Leptodactylus* (Crustacea, Decapoda). *Comp Biochem Phys B*, **58**, 393-395.
- Brummett RE, Alon NC (1994) Polyculture of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) and Australian red claw crayfish (*Cherax quadricarinatus*) in earthen ponds. *Aquaculture*, **122**, 47-54.
- Bünning J (2015) Einfluss des Lichtes auf das geschlechterspezifische Häutungsverhalten des europäischen Edelkrebse *Astacus astacus* (Linnaeus, 1758). In: *Aquakultur und Sea-Ranching*. Universität Rostock, Rostock, pp. 132.
- Cukerzis J (1973) Biologische Grundlagen der Methode der künstlichen Aufzucht der Brut des *Astacus astacus* L. *Freshwater Crayfish*, **1**, 187-201.
- Cukerzis JM (1988) *Astacus astacus* in Europe. *Freshwater Crayfish, Biology*.
- Fuertes JB, Celada JD, Carral JM, Saez-Royuela M, Gonzalez-Rodriguez A (2012) Effects of dietary protein and different levels of replacement of fish meal by soybean meal in practical diets for juvenile crayfish (*Pacifastacus leniusculus*, Astacidae) from the onset of exogenous feeding. *Aquaculture*, **364**, 338-344.
- Füreder L (2009) *Flusskrebse Biologie - Ökologie - Gefährdung*, Folio Verlag, Wien.
- Hager J (2003) *Edelkrebse - Biologie, Zucht, Bewirtschaftung*, Leopold Stocker Verlag, Graz - Stuttgart.
- Hessen DO, Taugbøl T, Fjeld E, Skurdal J (1987) Egg development and lifecycle timing in the noble crayfish (*Astacus astacus*). *Aquaculture*, **64**, 77-82.
- Huner JV, Lindqvist OV (1985) Effects of temperature and photoperiod on mating and spawning activities of wild-caught noble crayfish *Astacus astacus* Linne (Astacidae, Decapoda). In: *World Mariculture Society Meeting*, Orlando, Florida.
- Jähne G (2014) Kultur des europäischen Edelkrebse (*Astacus Astacus*) in landbasierten Kreislaufsystemen: Größenklassensortierung und technische Anpassungen zur Verbesserung der Kulturbedingungen. In: *Aquakultur und Sea-Ranching*. Universität Rostock, Rostock, pp. 153.
- Klavens P, Sorgeloos P (1991) Variation in egg and larval quality in various fish and crustacean species. In: *Larvi '91 - Fish & Crustacean Larviculture Symposium* (ed P. Lavens PS, E. Jaspers, and F. Ollevier). European Aquaculture Society, Gent, Belgium.
- Kröncke N (2014) Polykultur von Edelkrebsen (*Astacus astacus*) und Red Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) – Untersuchungen zur Nährstoffausnutzung und zur Entwicklung von Edelkrebsen und Tilapien in einer integrierten Aquakultur. In: *Biotechnologie*. Hochschule Bremerhaven, Bremerhaven, pp. 162.
- Lorkowski K (2012) Aufbau eines Hälterungssystems für den Europäischen Edelkrebs (*Astacus astacus*) und Untersuchungen zum Futtermanagement. In: *Biotechnologie*. Hochschule Bremerhaven, Bremerhaven, pp. 98.
- Melendre PM, Celada JD, Carral JM, Sáez-Royuela M, Aguilera A (2006) Effectiveness of antifungal treatments during artificial incubation of the signal crayfish eggs (*Pacifastacus leniusculus* Dana, Astacidae). *Aquaculture*, **257**, 257-265.
- Pérez JR, Carral JM, Celada JD, Muñoz C, Sáez-Royuela M, Antolín JI (1998) Effects of stripping time on the success of the artificial incubation of white-clawed crayfish, *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet), eggs. *Aquaculture Research*, **29**, 389-395.



- Pérez JR, Celada JD, González J, Carral JM, Sáez-Royuela M, Fernández R (2003) Duration of egg storage at different temperatures in the astacid crayfish *Pacifastacus leniusculus*: critical embryonic phase. *Aquaculture*, **219**, 347-354.
- Pöckl M (1998) Funktionelle Morphologie und Anatomie der Flußkrebse. Biologiezentrum Linz, Austria, Linz, pp. 131-142.
- Policar T, Kozák P, Martín J (2006) Effects of Egg Bath and Daily Removal of Dead Eggs on Hatching Success and Production of Stage 2 Juveniles During Artificial Incubation in Noble Crayfish. *Bulletin Francais de la Peche et de la Pisciculture*, 1197-1206.
- Polivka R, Dümpelmann C (2010) Modell und Demonstrationsvorhaben (MuD): Erhaltung autochthoner Populationen bedrohter Krebs- und Fischarten. NABU Ortsgruppe Marburg: Arbeitskreis Gewässerschutz, Marburg, pp. 38.
- Seemann UB, Lorkowski K, Schiffer M, Hörterer C, Slater MJ, Buck BH (2014a) Survival of early striped eggs of the noble crayfish *Astacus astacus* and effects of saline solution during artificial incubation. *Freshwater Crayfish*, **20**, 6.
- Seemann UB, Lorkowski K, Slater MJ, Buchholz F, Buck BH (2014b) Growth performance of Noble Crayfish *Astacus astacus* in recirculating aquaculture systems. *Aquaculture International*, **23**, 997-1012.
- Selkoe KA, Toonen RJ (2006) Microsatellites for ecologists: a practical guide to using and evaluating microsatellite markers. *Ecology Letters*, **9**, 615-629.
- Souty-Grosset C, Reynolds JD (2009) Current ideas on methodological approaches in European crayfish conservation and restocking procedures. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, **01**, 394-395.
- Tisdell C (2012) Economics and Marketing. In: *Aquaculture: Farming Aquatic Animals and Plants* (ed by Lucas JSS, Paul C. ). Wiley-Blackwell, pp. 648 (237-252).
- Xu WN, Liu WB, Shen MF, Li GF, Wang Y, Zhang WW (2013) Effect of different dietary protein and lipid levels on growth performance, body composition of juvenile red swamp crayfish (*Procambarus clarkii*). *Aquaculture International*, **21**, 687-697.

## Growth performance of Noble Crayfish *Astacus astacus* in recirculating aquaculture systems

Uli B. Seemann · Kai Lorkowski · Matthew J. Slater ·  
Friedrich Buchholz · Bela H. Buck

Received: 26 May 2014 / Accepted: 14 November 2014  
© Springer International Publishing Switzerland 2014

**Abstract** There is growing interest in using recirculating aquaculture systems (RAS) to raise noble crayfish *Astacus astacus* a valuable and once plentiful food species in Europe, now a highly endangered species. The growth and survival of *A. astacus* was compared in growth trials in RAS and open-pond systems (OPS) over a period of 2 months. Energy and lipid content of available diets and crayfish tissue were also determined. Growth of *A. astacus* during summer was significantly ( $p < 0.01$ , one sample  $t$  test) higher in OPS (SGR 1.23) than in RAS even at the highest feeding ration provided at 5 % bw/d<sup>-1</sup> (RAS HI SGR 0.78 ± 0.06). OPS crayfish also had significantly ( $p < 0.01$  OPS vs. all RAS treatments; Pairwise Wilcoxon) higher lipid content (8.51 %) than RAS crayfish (RAS HI 5.73 %, RAS MED 6.93 %, RAS LOW 5.92 %). Survival rates in RAS were, however, 100 % compared with previous observations in OPS of approx. 70 %. While results showed OPS growth exceeds that in RAS in the short term, RAS survival rates and annualized growth performance may outweigh this disadvantage, particularly if optimal artificial diets for RAS holding are provided. Feed and crayfish analysis indicated that culturing *A. astacus* in RAS require a diet protein content exceeding 30 % and lipid content of <13 %, indicating that the carp diet supplied was not optimal. RAS culture allows this valuable species to be cultured in controlled, disease-free enclosed systems—resulting in high-value food products as well as high-quality seedlings for restocking purpose.

**Keywords** *Astacus astacus* · Crayfish feed · Feed ratio · Lipid content · Pond system

---

U. B. Seemann (✉) · M. J. Slater  
Institute for Marine Resources GmbH, Bussestr. 27, 27570 Bremerhaven, Germany  
e-mail: uli.seemann@awi.de

U. B. Seemann · K. Lorkowski · M. J. Slater · F. Buchholz · B. H. Buck  
Alfred Wegener Institute Helmholtz Center for Polar and Marine Research, 27570 Bremerhaven,  
Germany

K. Lorkowski · B. H. Buck  
University of Applied Sciences Bremerhaven, 27568 Bremerhaven, Germany

Published online: 22 November 2014

 Springer



## Survival of Early Stripped Eggs of the Noble Crayfish, *Astacus astacus*, and Effects of Saline Solution During Artificial Incubation

ULI B. SEEMANN,<sup>1,2,\*</sup> KAI LORKOWSKI,<sup>1,2</sup> MELANIE SCHIFFER,<sup>1,2</sup> CHRISTINA HÖRTERER,<sup>1,2</sup> MATTHEW J. SLATER<sup>1,2</sup> AND BELA H. BUCK<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Institute for Marine Resources GmbH, Bussestraße 27, 27570 Bremerhaven, Germany.

\*Corresponding Author. — [uli.seemann@awi.de](mailto:uli.seemann@awi.de)

<sup>2</sup>Alfred Wegener Institute, Helmholtz Center for Polar and Marine Research, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven, Germany.

<sup>3</sup>University of Applied Sciences Bremerhaven, An der Karlstadt 8, 27568 Bremerhaven, Germany.

### ABSTRACT

There is growing interest in using recirculating aquaculture systems (RAS) to produce juvenile noble crayfish, *Astacus astacus* (Linnaeus), a valuable and once plentiful food species in Europe, now a highly endangered species. The survival rates of early stripped eggs of *A. astacus* were compared across anti-fungal treatments in an artificial RAS incubation system based on a saline bath of approx. 20 – 22 mS cm<sup>-1</sup> or 15 – 16 PSU over two different durations. Time from fertilisation to hatching was 82 days or 1191 degree-days. Low survival rates (live successfully hatched juveniles at end of experimental period) between 11.0 ± 9.5% and 26.6 ± 3.7% were obtained. Survival was significantly affected by the duration of egg bath within the saline solution with twice as high survival rates when eggs were saline-bathed once every two days for five minutes in comparison to eggs without treatment. Fungal rates were significantly affected by treating the eggs with a saline solution with infection rates decreasing from 3.7 ± 1.0% to 0.8 ± 0.5% in the ten minute saline bath treatment. Appropriately applied saline bathing can markedly improve survival of early-stripped noble crayfish eggs. However, further research is required to determine whether viable levels of hatching success can be obtained using early stripping and saline treatment.

Copyright © 2014 by The Author(s). Published by the International Association of Astacology. This article is distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC-BY), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Submitted: 01 NOV 2014  
 Accepted: 31 DEC 2014  
 Published Online: 31 DEC 2014  
 Published Print: 31 DEC 2014

#### Keywords:

artificial egg incubation;  
 early stripping;  
 fungal treatment;  
 saline bath;  
 survival rates;

#### Contributing Author E-mail(s):

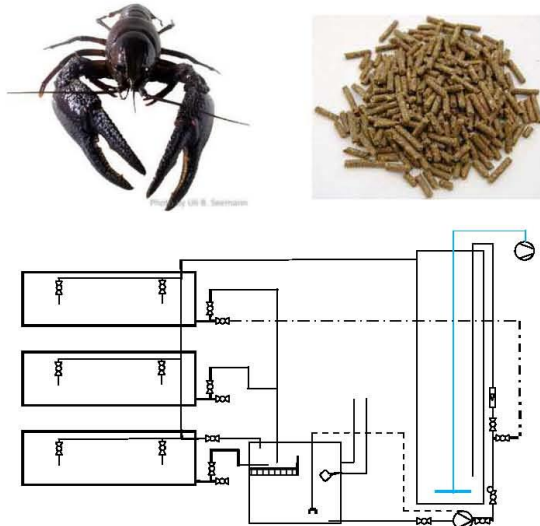
[kai.lorkowski@awi.de](mailto:kai.lorkowski@awi.de);  
[melanie.schiffer@awi.de](mailto:melanie.schiffer@awi.de);  
[christina.hoerterer@awi.de](mailto:christina.hoerterer@awi.de);  
[matthew.james.slater@awi.de](mailto:matthew.james.slater@awi.de);  
[bel.h.buck@awi.de](mailto:bel.h.buck@awi.de);

## Anlage 3

Hochschule Bremerhaven  
Fachbereich 1  
Studiengang: Biotechnologie

### Masterarbeit

#### Aufbau eines Hälterungssystems für den Europäischen Edelkrebs (*Astacus astacus*) und Untersuchungen zum Futtermanagement



Kai Lorkowski, geb. 27.04.1987

Wintersemester 2012/13

Matrikelnummer: 26093

Erstprüfer/Betreuer: Prof. Dr. Bela H. Buck

Zweitprüfer/Betreuer: Dr. Helmut Thetmeyer

21.12.2012

---

<b>i. Inhaltsverzeichnis</b>	
i.	Inhaltsverzeichnis..... i
ii.	Abkürzungsverzeichnis ..... iv
iii.	Abbildungsverzeichnis..... v
iv.	Zusammenfassung..... vii
v.	Abstract..... ix
1	Einleitung ..... 1
1.1	Flusskrebse ..... 1
1.2	Europäischer Edelkrebs ( <i>Astacus astacus</i> )..... 2
1.3	Hälterungssysteme ..... 4
1.4	Anforderungen an geschlossene Kreislaufsysteme..... 5
1.5	Futter ..... 7
1.6	Ziele dieser Arbeit..... 8
2	Material und Methoden ..... 9
2.1	Aufbau des Sytems „Broodstock“..... 9
2.2	Untersuchung der Rückspülung.....14
2.3	Untersuchungen zum Futtermanagement.....14
2.3.1	Versuchstiere.....14
2.3.2	Versuchsfutter .....14
2.3.3	Futterzusätze.....15
2.3.4	Durchführung des Fütterungsversuches .....15
2.3.5	Besatz .....16
2.4	Vergleichsteich in Poggenhagen.....18
2.5	Bestimmung der Wasserwerte .....18
2.5.1	pH-Wert.....19
2.5.2	Sauerstoffsättigung.....19
2.5.3	Redoxpotential.....19
2.5.4	Bestimmung der Härte.....19
2.6	Bestimmung der gelösten Nährstoffe .....19
2.6.1	Ammonium .....20
2.6.2	Nitrit.....20
2.6.3	Nitrat.....21
2.7	Größen- und Gewichtsbestimmung der Krebse .....21
2.8	Bestimmung der Wachstumsraten .....21

---

---

2.9	Fettsäureanalytik .....	22
2.9.1	Probenbehandlung .....	22
2.9.2	Extraktion der Lipide .....	22
2.9.3	Gaschromatographie .....	23
2.9.4	Quantifizierung der Fettsäuren .....	25
2.9.5	Wiederfindung .....	25
2.10	Kalorimetrie .....	25
2.11	Statistik .....	26
3	Ergebnisse .....	27
3.1	Inbetriebnahme des Systems „Broodstock“ .....	27
3.2	Allgemeiner Betrieb des Systems „Broodstock“ .....	28
3.3	Verlauf der Wasserwerte .....	28
3.3.1	System „Broodstock“ .....	28
3.3.2	Teichwirtschaft Poggenhagen .....	29
3.4	Konzentrationen der gelösten Nährstoffe .....	30
3.4.1	System „Broodstock“ .....	30
3.4.2	Teichwirtschaft Poggenhagen .....	31
3.5	Redoxpotential im Bodengrund .....	32
3.6	Kalorimetrie .....	33
3.7	Häutungen .....	34
3.8	Wachstumsraten .....	35
3.9	Futteraufnahme .....	38
3.10	Verfärbung der Krebse .....	39
3.11	Fettsäureanalytik .....	39
3.11.1	Gesamtlipid .....	39
3.11.2	Fettsäureprofile .....	40
4	Diskussion .....	44
4.1	Verlauf der Wasserwerte .....	44
4.2	Verlauf der gelösten Nährstoffe .....	46
4.3	Messung des Redoxpotentials im Bodengrund .....	47
4.4	Funktion der Rückspülung .....	49
4.5	Beurteilung des Systems „Broodstock“ .....	49
4.6	Weiterentwicklung des Beckendesigns .....	51
4.7	Kalorimetrie .....	53
4.8	Häutungen .....	54

---

---

4.9	Wachstumsraten.....	54
4.10	Verfärbung der Krebse .....	56
4.11	Fettsäureanalytik .....	57
4.11.1	Methode .....	57
4.11.2	Gesamtlipid .....	58
4.11.3	Fettsäureprofile.....	59
5	Fazit .....	62
5.1	Systemdesign .....	62
5.2	Futtermanagement .....	62
6	Danksagung .....	64
7	Erklärung der selbstständigen Arbeit .....	65
8	Literatur .....	66
	Anhang I .....	I
	Anhang II .....	XV

---

---

#### iv. Zusammenfassung

Der Edelkrebs (*Astacus astacus*) war in Europa ehemals weit verbreitet und wurde als Speisekrebs genutzt. Durch die Krebspest und anthropogene Einflüsse, wie Umweltverschmutzungen oder auch Flussbegradigungen, wurden die Bestände jedoch stark dezimiert. Inzwischen wird der Edelkrebs in der Roten Liste Deutschlands in der Kategorie 1 (vom Aussterben bedroht) geführt.

Bisher werden Edelkrebse vorwiegend in extensiven bis semi-intensiven Teichwirtschaften als Besatz- und Speisekrebs gezüchtet. Im Rahmen des Projektes „AStRa“, an welches diese Arbeit angegliedert ist, soll ein geschlossenes Kreislaufsystems für die Besatzzucht entwickelt werden. Dieses bietet den Vorteil, dass krebspestfreie und kontrollierte Bedingungen (z.B. Temperatur, Sauerstoffsättigung, pH-Wert) einstellbar sind.

In dieser Arbeit wurde ein geschlossenes System mit Kies als natürlichem Bodengrund aufgebaut und auf seine Eignung untersucht. Eine Rückspülung sollte anaerobe Zonen im Bodengrund verhindern.

Es zeigte sich, dass der Bodengrund für die Edelkrebse eine hervorragende Struktur darstellte, es aber zu denitrifizierenden Prozessen kam und die eingebaute Rückspülung nicht ausreichend war, um dieses zu verhindern. Das Beckendesign wurde daraufhin weiterentwickelt und ein Vorschlag erarbeitet, der das Auftreten von anaeroben Zonen besser verhindern könnte und die Strukturierung mit dem Kies weiterhin gegeben wäre. Weitere Ergebnisse dazu stehen noch aus; im Projekt „AStRa“ wird das Design weiter untersucht.

Um den Edelkrebs in Kreislaufanlagen halten und reproduzieren zu können, ist es essentiell, ein geeignetes Futtermittel, welches den Anforderungen des Edelkrebses entspricht, zur Verfügung zu haben. Daher wurden ein industrielles Karpfenfutter, Cyprinin K2, und zwei mögliche Futtermittelzusätze, Miesmuschelmehl (*Mytilus edulis*) und Wasserpest (*Elodea spec.*), auf deren Eignung untersucht. Die Wachstumsraten (SGR) der Krebse, bei einer Fütterung von 3, 4 und 5 % des Körpergewichtes mit Cyprinin K2, wurden mit der Wachstumsrate (SGR) von Krebsen aus einem Teich verglichen. Außerdem wurde eine Fettsäureanalyse durchgeführt. Für das Futtermittel und die möglichen Zusatzstoffe wurde ebenfalls eine Fettsäureanalyse durchgeführt und der Energiegehalt kalorimetrisch bestimmt.

Für die verschiedenen Fütterungsraten ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in den SGR. Diese waren jedoch am höchsten bei der 5 %-Gruppe mit  $0,78 \pm 0,06 \text{ \% d}^{-1}$ , gefolgt von der 4 %-Gruppe mit  $0,71 \pm 0,03 \text{ \% d}^{-1}$  und der 3 %-Gruppe mit  $0,67 \pm 0,11 \text{ \% d}^{-1}$ . Signifikant höher war dagegen die SGR der Krebse aus dem Vergleichsteich mit  $1,24 \text{ \% d}^{-1}$ . Die Fettsäureanalytik ergab, dass nicht alle für den

---



Edelkrebs wichtigen Fettsäuren (18:2 n-6, 18:3 n-3, 20:5n-3 und 22:6 n-3) im Futtermittel vorhanden oder ausreichend sind, diese jedoch durch die Ergänzung mit den beiden ausgewählten Zusatzstoffen zur Verfügung gestellt werden könnten (*Elodea spec.* 18:3 n-3 und *Mytilus edulis* 20:5n-3 und 22:6 n-3). Neben den Fettsäuren könnte die Wasserpest auch fehlende Carotinoide (Astaxanthin) liefern. In Bezug auf den Energiegehalt sind die Zusatzstoffe ebenfalls geeignet.

Als dauerhaftes Alleinfuttermittel ist Cyprinin K2 für den Edelkrebs nicht geeignet, eine Kombination mit dem Miesmuschelmehl und der Wasserpest könnte jedoch ein passendes Futtermittel für den Edelkrebs darstellen.

## Anlage 4

Hochschule Bremerhaven  
Fachbereich 1  
Masterstudiengang „Biotechnologie“



### Masterarbeit

**Polykultur von Edelkrebsen (*Astacus astacus*) und Red Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) – Untersuchungen zur Nährstoffausnutzung und zur Entwicklung von Edelkrebsen und Tilapien in einer integrierten Aquakultur**



von

**Nina Kröncke**

Matrikelnr.: 25933

**Referent:**

Prof. Dr. Bela H. Buck

**Korreferent:**

Dipl.-Biol. Marcus Thon

**Projektleiter:**

Dipl.-Biol. Uli B. Seemann

Bremerhaven, 03. Juli 2014

**imare**  
Institute for Marine Resources GmbH

Inhaltsverzeichnis	
Inhaltsverzeichnis .....	I
Zusammenfassung .....	IV
Abstract .....	VI
Abkürzungsverzeichnis .....	VIII
1 Einleitung .....	1
1.1 Europäischer Edelkrebs ( <i>Astacus astacus</i> ) .....	2
1.2 Tilapia ( <i>Oreochromis niloticus</i> ) .....	6
1.3 Polykultur .....	11
2 Hintergrund der Arbeit .....	14
2.1 Das Projekt „AStRa“ .....	14
2.2 Problemstellungen .....	14
2.3 Zielstellungen .....	15
2.3.1 Polykultur von Edelkrebsen und Tilapien .....	15
2.3.2 Futtermittelvergleich Edelkrebse .....	18
3 Material und Methoden .....	20
3.1 Darstellung der Systeme .....	20
3.1.1 Kreislaufanlage 2.1 .....	20
3.1.2 Das System „Grow-Out“ .....	22
3.1.3 Aquariensystem Edelkrebs .....	23
3.1.4 Aquariensystem Tilapia .....	24
3.2 Versuchstiere .....	24
3.3 Versuchsfutter .....	25
3.3.1 Edelkrebsfutter .....	25
3.3.2 Tilapiafutter .....	27
3.4 Durchführung der Fütterungsversuche .....	28
3.4.1 Bestimmung des Wachstums von Edelkrebsen und Tilapien in Polykultur .....	29
3.4.2 Bestimmung des Wachstums von Edelkrebsen in Einzelhaltung .....	32
3.4.3 Bestimmung des Wachstums von Tilapien in Monokultur bei 20°C .....	32
3.4.4 Bestimmung des Wachstums von Tilapien in Monokultur bei 28°C .....	34
3.4.5 Größen- und Gewichtsbestimmung der Edelkrebse .....	34
3.4.6 Größen- und Gewichtsbestimmung der Tilapien .....	35
3.4.7 Bestimmung der Wachstumsraten .....	35
3.4.8 Bestimmung des Konditionsindex .....	35
3.4.9 Bestimmung des Futterquotienten (FCR) .....	36

3.5	Bestimmung der Menge an Faeces und des circadianen Rhythmus der Edelkrebse ...	36
3.6	Wasserparameter.....	37
3.6.1	Bestimmung der Wasserwerte .....	37
3.6.2	Bestimmung der gelösten Nährstoffe .....	38
3.7	Statistische Auswertung.....	39
4	Ergebnisse.....	40
4.1	Wasserparameter.....	40
4.2	Wachstum der Edelkrebse .....	41
4.2.1	Wachstum der Edelkrebse in Polykultur bei „Gemeinsamer Haltung“ .....	41
4.2.2	Wachstum der Edelkrebse in Polykultur bei „Getrennter Haltung“ .....	47
4.2.3	Wachstum der Edelkrebse in Einzelhaltung .....	50
4.2.4	Vergleich der Wachstumsraten aller Krebse .....	52
4.3	Verfärbung der Edelkrebse .....	54
4.4	Circadianer Rhythmus der Edelkrebse .....	55
4.5	Feststoffausscheidungen der Edelkrebse .....	56
4.6	Wachstum der Tilapien .....	57
4.6.1	Wachstum der Tilapien in Polykultur bei „Gemeinsamer Haltung“ .....	57
4.6.2	Wachstum der Tilapien in Polykultur bei „Getrennter Haltung“ .....	58
4.6.3	Wachstum der Tilapien in Monokultur bei 20°C .....	60
4.6.4	Wachstum der Tilapien in Monokultur bei 28°C .....	66
4.6.5	Vergleich der Wachstumsraten aller Fische .....	68
4.7	Arten-Interaktion .....	70
4.8	Reinigung der Becken durch die Tilapien.....	70
5	Diskussion.....	71
5.1	Wasserparameter.....	71
5.2	Wachstum der Edelkrebse .....	71
5.2.1	Beeinflussung des Wachstums durch Heterogenität .....	71
5.2.2	Beeinflussung des Wachstums durch die Nahrung .....	72
5.2.3	Beeinflussung des Wachstums durch die Beckengestaltung .....	75
5.2.4	Beeinflussung des Wachstums durch das Geschlechterverhältnis .....	76
5.2.5	Beeinflussung des Wachstums durch die individuelle Markierung.....	77
5.2.6	Beeinflussung des Wachstums durch die Anwesenheit der Tilapien.....	77
5.2.7	Einflussmöglichkeiten auf die Anzahl der Häutungen .....	78
5.3	Mortalität der Edelkrebse .....	80
5.4	Verfärbung der Edelkrebse .....	83

5.5	Circadianer Rhythmus der Edelkrebse .....	85
5.6	Wachstum der Tilapien .....	86
5.6.1	Beeinflussung des Wachstums durch Heterogenität .....	86
5.6.2	Beeinflussung des Wachstums durch agonistische Interaktionen .....	88
5.6.3	Beeinflussung des Wachstums durch die Temperatur .....	91
5.6.4	Beeinflussung des Wachstums durch die Anwesenheit der Edelkrebse .....	93
5.6.5	Beeinflussung des Wachstums durch die Nahrung der Tilapien .....	94
5.7	Mortalität der Tilapien .....	96
5.8	Minimierung der manuellen Reinigung der Becken durch die Tilapien .....	105
5.9	Statistische Auswertung .....	105
6	Abschlussbetrachtung .....	107
6.1	Eignung der beiden Arten Edelkrebs und Tilapia für eine integrierte Aquakultur .....	107
6.2	Wachstum und Besonderheiten der Edelkrebse .....	109
7	Danksagung .....	112
8	Ehrenwörtliche Erklärung .....	113
9	Literatur .....	114
	Anhang .....	i
	Anhang 1 .....	i
	Anhang 2 .....	vii
	Anhang 3 .....	xv
	Anhang 4 .....	xvi

## Zusammenfassung

Das Projekt AStRa (*Astacus stock raise*), in dessen Rahmen diese Arbeit angefertigt wurde, beschäftigt sich mit der Erarbeitung und Konzeptionierung eines geschlossenen Kreislaufsystems zur Zucht des Edelkrebses (*Astacus astacus*). Die in einer Kreislaufanlage bei der Haltung des Edelkrebses anfallenden Reststoffe, in Form von Futterresten und Faeces, können zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Wasserqualität führen. Der Austrag dieser Partikelablagerungen aus den Becken der Edelkrebse mit technischen Lösungsansätzen gestaltete sich als schwierig. Deshalb wurde untersucht, ob eine gemeinsame Haltung der Edelkrebse mit Fischen möglich ist, die in der Lage sind, die anfallenden Faeces und Futterreste der Krebse aus den Becken zu entfernen und weiter effektiv in Biomasse umzusetzen.

Im Rahmen der vorliegenden Masterarbeit wurde daher der Edelkrebs (*Astacus astacus*) mit dem bereits in der Aquakultur etablierten omnivoren Red Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus*) in einem Haltungssystem vereint, um die möglichen Potentiale einer gemeinsamen Haltung hinsichtlich Wachstum und Futtermittelverwertung der beiden Arten zu untersuchen und den Zeitaufwand von manuellen Reinigungsmaßnahmen zu minimieren.

Hierbei wurden zwei verschiedene Ansätze der Polykultur miteinander verglichen. Im ersten Versuch konnten die Fische ungehindert die Haltungseinheiten der Krebse aufsuchen und die nichtverwerteten Futterreste und Faeces aufnehmen. Im zweiten Versuch sorgte eine räumliche Trennung dafür, dass die Tilapien keinen direkten Kontakt zu den Krebsen hatten, ihnen jedoch trotzdem die Faeces und Futterreste zur Verfügung gestellt wurden. Ein Nebenversuch mit der Einzelhaltung der Krebse diente als Vergleich, um das Wachstum der Tiere unabhängig vom Einfluss der Tilapien und Artgenossen bestimmen zu können. Zudem sollte die Haltung der Tilapien in Monokultur bei 20°C und 28°C, Aufschluss über den Einfluss der Temperatur auf das Wachstum und die Futtermittelverwertung der Tiere geben. Die Tilapien wurden dabei mit unterschiedlichem Industriefutter gefüttert. Dabei wurde ein Shrimpfutter, Karpfenfutter (Aller Classic) und Tilapia Aufzuchtfutter (Crumble Vital) auf Eignung untersucht und die Wachstumsraten bestimmt.

Um für die Edelkrebse ein geeignetes Futtermittel zu finden, welches den Anforderungen der Tiere entspricht und ihnen ein optimales Wachstum ermöglicht, wurde ein industrielles Karpfenfutter (Aller Classic) und eine Futtermischung aus einem Lachsforellenfutter (Astax 44/22) mit einem weiteren Karpfenfutter (Cyprin K2), auf deren Eig-

nung untersucht. Hierfür wurden die Wachstumsraten, sowohl in Polykultur als auch in Einzelhaltung bestimmt und miteinander verglichen.

Die männlichen Edelkrebse unterschieden sich in den spezifischen Wachstumsraten der Biomasse signifikant von den Wachstumsraten der weiblichen Krebse, welche in Polykultur mit dem Karpfenfutter Aller Classic gefüttert wurden.

Beim Vergleich der Wachstumsraten der beiden Tiere in den Polykulturversuchen, wurden signifikante Unterschiede festgestellt. Sowohl die Edelkrebse, als auch die Tilapien, erreichten signifikant höhere Wachstumsraten im ersten Polykulturversuch bei direkter Anwesenheit der anderen Spezies. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht zweifelsfrei auf die An- oder Abwesenheit der Tilapien in den Haltungseinheiten der Edelkrebse zurückführen. Denn beim Vergleich der Wachstumsraten der Edelkrebse in den beiden Einzelhaltungsversuchen, erreichten die Tiere ebenfalls signifikant höhere Wachstumsraten im ersten Einzelhaltungsversuch. Die Faktoren, welche einen weiteren, potentiellen Einfluss auf das Wachstum der Tiere besaßen, waren das höhere Alter im zweiten Polykultur- und Einzelhaltungsversuch und die unterschiedlichen Lichtverhältnisse, welche besonders auf das Wachstum der Krebse einen signifikanten Einfluss ausübten.

Im Vergleich der Wachstumsraten in Abhängigkeit von der Temperatur wiesen die Tilapien signifikant bessere Wachstumsraten bei einer Wassertemperatur von 28°C auf. Während der Monokulturversuche bei 20°C und 28°C kam es zu einer erhöhten Mortalität bei Fütterung des Karpfen- und Shrimpfutters. Hierbei traten bei den Tilapien erhebliche Verdauungsprobleme, mit Mortalitätsraten von 16,7 % bis 25,6 %, auf. Es stellte sich heraus, dass die verwendeten Futtermittel nicht den Ernährungsanfordernissen der jungen Tilapien entsprachen. Daher sind die bisher getesteten „Krebsfuttermittel“ als Alleinfutter zur Ernährung von juvenilen Tilapien ungeeignet.

Die Ernährung der Tilapien durch die Futterreste und Faeces führte im zweiten Polykulturversuch zu einer gänzlichen Minimierung der manuellen Reinigung der Becken in der Kreislaufanlage und erhöhte somit die effektive Verwertung der anfallenden Feststoffe der Edelkrebse. Zudem kam es hierbei zu keinerlei Mortalität, was eine grundsätzliche Verwertung der „Krebsfuttermittel“ bei älteren Tilapien nicht ausschließen lässt.

Obwohl ein möglicher Stressfaktor auf das Wachstum der Edelkrebse nicht gänzlich ausgeschlossen werden konnte, erreichten die Edelkrebse im Vergleich zur Literatur, vergleichbare Wachstumsraten in einer gemeinsamen Haltung mit den Tilapien in der Kreislaufanlage.



## Masterarbeit

Kultur des europäischen Edelkrebse (*Astacus Astacus*) in  
landbasierten Kreislaufsystemen:  
Größenklassensortierung und technische Anpassungen  
zur Verbesserung der Kulturbedingungen

Eingereicht: 17.03.2014  
Verfasser: Gregor Jähne  
Spitzhalde 6  
79853 Lenzkirch  
Matrikel-Nr.: 211208833

Erster Betreuer:  
Prof. Dr. Harry Palm  
Aquakultur und Sea-Ranching  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock

Zweiter Betreuer:  
Dr. Adrian Bischoff - Lang  
Aquakultur und Sea-Ranching  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock



## Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	i
Abbildungsverzeichnis .....	v
Tabellenverzeichnis.....	viii
Zusammenfassung.....	xi
Abstract.....	xiii
1 Einleitung .....	1
1.1 Europäische Flusskrebse.....	2
1.2 Der Europäische Edelkrebs.....	2
1.3 Die Krebspest .....	4
2 Hintergrund der Arbeit / Literaturübersicht .....	5
2.1 Bestehende Formen der Zucht.....	5
2.2 Das Projekt AStRa.....	7
2.3 Fragestellungen .....	8
2.3.1 Größenklassensortierung.....	8
2.3.2 Verbesserung der Systemstabilität.....	9
3. Material und Methoden .....	11
3.1 Beschreibung des Systems .....	11
3.2 Umbau des Systems .....	13
3.3 Beckenaufbau.....	15
3.4 Wasserparameter.....	16
3.4.1 Bestimmung der Wasserwerte .....	16
3.4.2 Bestimmung der gelösten Nährstoffe .....	17
3.5 Versuch zur Größenklassensortierung.....	18
3.5.1 Versuchstiere.....	18
3.5.2 Versuchsdurchführung.....	18
3.5.3 Größen und Gewichtsbestimmung.....	20
3.5.4 Versuchsfutter.....	21
3.5.5 Berechnung der Wachstumsrate.....	21

3.6 Versuch zur Verbesserung der Systemstabilität.....	22
3.6.1 Optimierung der Rückspülung/Absaugung .....	24
3.6.2 Vergleich der Drainagesysteme .....	27
3.7 Statistische Auswertung .....	28
4. Ergebnisse.....	29
4.1 Wasserparameter .....	29
4.2 Gelöste Nährstoffe .....	30
4.3 Wasseraustausch .....	32
4.4 Belichtung .....	32
4.5 Charakterisierung der Gruppen am Anfang des Versuchs .....	32
4.5.1 Gruppen „Klein“ .....	32
4.5.2 Gruppen „Gemischt“ .....	34
4.5.3 Gruppen „Groß“ .....	39
4.5.4 Vergleich der Gruppen.....	41
4.5.5 Vergleich der Größenklassen.....	42
4.6 Verfolgung der individuell markierten Tiere .....	43
4.7 Mortalität .....	44
4.8 Verfärbung der Tiere .....	45
4.9 Häutungen .....	45
4.9.1 Verlust an Extremitäten bei der Häutung .....	47
4.9.2 Gruppen „Klein“ .....	48
4.9.3 Gruppen „Gemischt“ .....	49
4.9.4 Gruppen „Groß“ .....	51
4.9.5 Einfluss des Geschlechtes auf den Verlust von Extremitäten.....	51
4.9.6 Spezifische Wachstumsraten der Geschlechter .....	52
4.9.7 Vergleich der Wachstumsraten der unterschiedlichen Größenklassen .....	53
4.9.8 Häutungen unter Berücksichtigung der Lichtsituation.....	55
4.10 Wachstum.....	59
4.10.1 Wachstumsraten aller Tiere .....	60
4.10.2 Gruppen „Klein“ .....	61
4.10.3 Gruppen „Gemischt“ .....	62
4.10.4 Gruppen „Groß“ .....	63
4.10.5 Spezifische Wachstumsraten unterteilt nach Geschlecht.....	63

4.10.6 Vergleich der Wachstumsraten der unterschiedlichen Größenklassen.....	64
4.11 Zustand der Tiere zu Versuchsbeginn und Versuchsende.....	67
4.11.1 Wachstumsraten der Biomasse in Abhängigkeit des Zustands .....	68
4.11.2 Wachstumsraten der Carapaxlänge in Abhängigkeit des Zustands .....	69
4.12 Charakterisierung der Gruppen am Ende des Versuchs .....	71
4.12.1 Gruppen „Klein“ .....	71
4.12.2 Gruppen „Gemischt“ .....	72
4.12.3 Gruppen „Groß“ .....	77
4.12.4 Vergleich der Gruppen .....	79
4.12.5 Vergleich der Größenklassen .....	79
4.13 Systemstabilität .....	82
4.13.1 Simulation der künstlichen Belastung .....	82
4.13.2 Vergleich der Drainagesystem mit künstlicher Belastung .....	83
4.13.3 Totzonen .....	84
4.13.4 Vergleich der Becken A1 und B1 mit gleichem Drainagesystem.....	84
4.13.5 Vergleich der Becken A1 und B1 unter realen Bedingungen .....	85
4.13.6 Vergleich des Austrags an organischem Material unter realen Bedingungen .....	86
4.13.7 Verlauf des Redoxpotentials unter realen Bedingungen .....	86
4.14 Statistische Auswertung .....	93
5 Diskussion .....	94
5.1 Wasserparameter und Wasseraustausch .....	94
5.2 Belichtung .....	94
5.3 Individuelle Markierung der Tiere.....	95
5.4 Futtermittel und Fütterung.....	96
5.5 Verfärbung der Tiere .....	97
5.6 Vergleich des Wachstums mit anderen Versuchen und der Teichwirtschaft .....	98
5.6.1 Einfluss der Nahrung auf das Wachstum.....	99
5.6.2 Einfluss von Bodensubstrat auf das Wachstum .....	100
5.7 Vergleich des Wachstums innerhalb der Gruppen .....	101
5.7.1 Vergleich der Gruppen zu Beginn und am Ende des Versuchs .....	101
5.7.2 Vergleich der erzielten Wachstumsraten über die gesamte Versuchslaufzeit .....	102

5.7.3 Vergleich der erzielten Wachstumsraten bei Häutungen .....	103
5.7.4 Einfluss des Geschlechterverhältnisses auf das Wachstum .....	105
5.7.5 Mortalität und Gliedmaßenverlust.....	106
5.7.6 Kompensatorisches Wachstum .....	107
5.7.7 Monosex – Kultur .....	107
5.8 Vergleich der Drainagesysteme mit künstlicher Belastung.....	108
5.9 Unterschiede der Becken A1 und B1 mit gleichem Drainagesystem.....	108
5.10 Verlauf des Redoxpotentials .....	109
6 Fazit.....	111
7 Danksagung .....	117
8 Erklärung der selbstständigen Arbeit.....	118
9 Literatur .....	119
Anhang.....	I
Anhang 1 .....	I
Wasserparameter.....	I
Gelöste Nährstoffe .....	II
Anhang 2 .....	III
Anhang 3 .....	V
Statistischer Vergleich (ANOVA) aller Gruppen zu Versuchsbeginn .....	V
Statistischer Vergleich (ANOVA) aller Gruppen am Ende des Versuchs.....	VI
Anhang 4 .....	VII
Gemessene Redoxwerte .....	VII

## Zusammenfassung

Der Edelkrebs (*Astacus Astacus* Linnaeus, 1758) stellt in Europa den größten Vertreter der heimischen Flusskrebse dar. Die ehemals weit verbreiteten Bestände wurden durch Umweltverschmutzung, die im 19. Jahrhundert eingebrachten invasiven Arten wie Kamberkrebs (*Orconectes limosus* Rafinesque, 1817) oder Signalkrebs (*Pacifastacus leniusculus* Dana, 1852) und die damit eingeschleppte Krebspest stark dezimiert. Dies führte dazu, dass der Edelkrebs in der Roten Liste Deutschland als vom Aussterben bedrohte Art (Kategorie 1) geführt und im Rahmen der FFH – Richtlinie geschützt wird.

Gezüchtet wird der Edelkrebs in extensiven bis semi – intensiven Teichwirtschaften, in denen nicht, beziehungsweise nur wenig zugefüttert wird. Das Abwachsen des Edelkrebsees in Kreislaufanlagen stellt zum heutigen Zeitpunkt einen neuen Produktionsprozess dar.

Das Projekt AStRa (Astacus Stock Raise), in dessen Rahmen diese Arbeit angefertigt wurde, befasst sich mit der Erarbeitung und Konzeptionierung eines geschlossenen Kreislaufsystems zur Zucht des Edelkrebsees. Der in diesem Projekt erkannte Forschungsbedarf führte zu der Fragestellung, ob sich das Wachstum der Tiere in einer Kreislaufanlage durch eine Größenklassensortierung verbessern lässt.

In dem unter kontrollierten Bedingungen durchgeführten Wachstumsexperiment konnte zwischen den männlichen Tieren der Gruppen („Klein“ „Gemischt“ „Groß“) keine statistisch signifikanten Unterschiede hinsichtlich des spezifischen Längenwachstums ( $P = 0,261$ ; ANOVA) und des spezifischen Biomassewachstums ( $P = 0,321$ ; ANOVA) ermittelt werden. Zwischen dem spezifischen Biomassewachstum der weiblichen Tiere wurden ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede ( $P = 0,071$ ; ANOVA) festgestellt. Die spezifischen Wachstumsraten der Carapaxlänge der weiblichen Tiere der Gruppe „Klein“ ( $0,09$  %/Tag) unterschieden sich jedoch signifikant ( $P < 0,001$ ; ANOVA) von den Wachstumsraten der anderen Gruppen. Diese Ergebnisse lassen sich jedoch nicht zweifelsfrei auf die Größenklassensortierung zurückführen. Faktoren, welche einen weiteren, potentiellen Einfluss auf das Wachstum besaßen, waren das Geschlechterverhältnis der Gruppen sowie das mögliche Einsetzen der Geschlechtsreife der großen, männlichen Tiere.

Die Effizienz einer Rückspülung/Absaugung wurde getestet um organisches Material aus den Becken auszutragen und somit das Entstehen von anaeroben Zonen zu vermeiden. Durch die Verhinderung von niedrigen Redoxwerte und den daraus resultierenden denitrifizierenden Prozessen, sollte die Wasserqualität sowie die Systemstabilität verbessert werden.

Die Ergebnisse zeigen, dass durch den Einsatz beziehungsweise durch die Optimierungen des Drainagesystems der Austrag an organischem Material gesteigert wurde. Dabei konnte die Effektivität des Systems von 7 % auf über 20 % erhöht werden. An den Totpunkten, welche sich unter der als Bodengrund verwendete Lochplatte bildeten, sanken die Redoxwerte auf bis zu 62 mV ab. Durch die Rückspülung konnten die geringen Redoxwerte von durchschnittlich  $117 \pm 25$  mV auf  $138 \pm 16$  mV (Becken B1, Drainagesystem-1) und von  $144 \pm 14$  mV auf  $158 \pm 9$  mV (Becken A1, Drainagesystem-3) erhöht werden. Die Optimierung des Systems führte neben einem erhöhten Austrag an organischem Material auch zu einer Erhöhung der Redoxwerte. Somit konnte durch den Einsatz der Rückspülung/Absaugung die Kulturbedingungen für den Edelkrebs in dem Kreislaufsystem verbessert werden.

## Anlage 6



Universität Rostock

### Masterarbeit

**Einfluss des Lichtes auf  
das geschlechterspezifische Häutungsverhalten  
des europäischen Edelkrebse  
*Astacus astacus* (Linnaeus, 1758)**

Eingereicht: 07. März 2015  
Verfasser: Jens Bünning  
Greifswalder Str 7  
18057 Rostock  
Matrikelnr.: 201123

Erster Betreuer

Prof. Dr. rer. nat. Harry W. Palm  
Aquakultur und Sea-Ranching  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock

Zweiter Betreuer

Dr. rer. nat. Adrian Bischoff-Lang  
Aquakultur und Sea-Ranching  
Universität Rostock  
Justus-von-Liebig-Weg 6  
18059 Rostock

## Kapitel 1 Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1. Licht als Zeitgeber.....	1
1.2. Dekapode Krebse (Zehnfußkrebse).....	2
1.3. Flusskrebse und europäische Vertreter .....	3
1.3.1. Der Dohlenkrebs ( <i>A. pallipes</i> ).....	3
1.3.2. Der Stein- oder Bachkrebs ( <i>A. torrentium</i> ).....	4
1.3.3. Der galizische oder europäische Sumpfkrebs ( <i>A. leptodactylus</i> ) .....	5
1.4. Neozoen und Krebspest .....	6
1.5. <i>Astacus astacus</i> der europäische Edelkrebs.....	9
2. Hintergrund der Masterarbeit / Forschungsstand .....	14
2.1. Das AStRa Projekt.....	14
2.2. Vorangegangene Arbeiten .....	15
2.2.1. LORKOWSKI (2012).....	15
2.2.2. KRÖNCKE (2014).....	15
2.2.3. JÄHNE (2014).....	18
2.2.4. Praktikum bezüglich des Faktors Licht (2014).....	22
2.3. Resultierende Arbeitshypothesen.....	25
2.3.1. Erste Arbeitshypothese .....	25
2.3.2. Zweite Arbeitshypothese .....	25
3. Material und Methoden .....	26
3.1. Versuchsaufbau.....	26
3.1.1. Hälterung und Beckendesign.....	26
3.1.2. Futter und Fütterung.....	28
3.1.3. Vermessung und Datenerfassung .....	31
3.1.4. Berechnung der Wachstumsrate.....	33

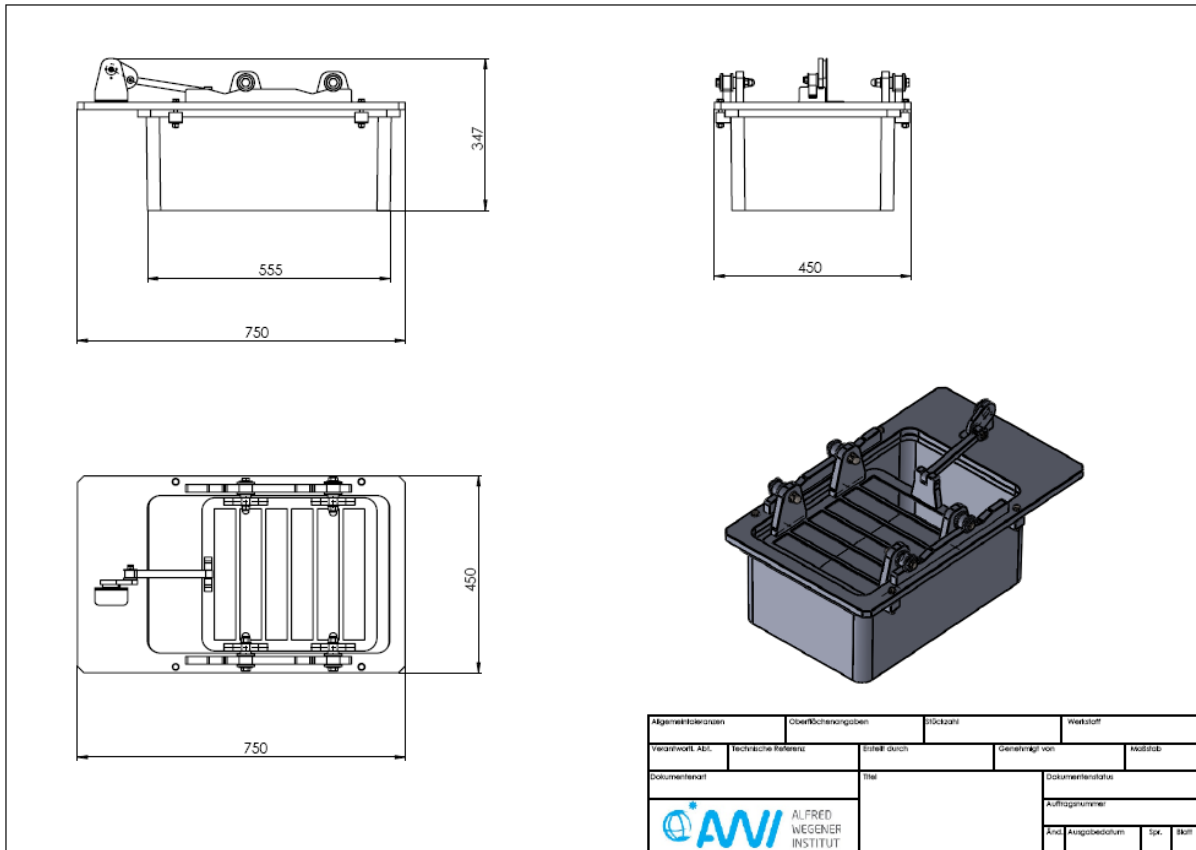


3.1.5.	Berechnung prozentualer Werte für die Häutungen .....	34
3.2.	Versuchsgliederung .....	36
3.2.1.	Hauptversuch .....	36
3.2.2.	Nebenversuch(e) .....	42
3.3.	Belichtung.....	44
3.3.1.	Lichtquelle und Belichtungsdauer .....	44
3.4.	Wasserparameter.....	45
3.4.1.	Bestimmung der Wasserwerte.....	45
3.5.	Bestimmung gelöster Nährstoffe .....	45
3.5.1.	Nitrit ( $\text{NO}_2^-$ ) .....	45
3.5.2.	Nitrat ( $\text{NO}_3^-$ ) .....	46
3.5.3.	Ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) .....	46
3.5.4.	Wasserhärte .....	46
3.6.	Statistische Auswertung.....	47
4.	Ergebnisse.....	48
4.1.	Häutungen.....	48
4.1.1.	Betrachtung der Phasen der Häutung.....	53
4.1.2.	Zweithäutungen .....	57
4.1.3.	Tiere ohne Häutungen.....	58
4.2.	Ansteigendes Lichtregime .....	60
4.3.	Ausbildung von Legeschleimdrüsen .....	61
4.3.1.	Unterschiede bei den Geschlechtern .....	62
4.4.	Charakterisierung der Gruppen zu Beginn des Versuches .....	62
4.5.	Individueller Zuwachs.....	65
4.5.1.	Prozentualer Zuwachs .....	65
4.5.2.	Spezifische Wachstumsrate (SGR).....	72
4.6.	Charakterisierung der Gruppen am Ende des Versuches.....	76
4.7.	Mortalität .....	79

4.8.	Wasserparameter.....	82
4.8.1.	Temperatur.....	82
4.8.2.	Sauerstoff.....	83
4.8.3.	pH-Wert.....	85
4.8.4.	Leitfähigkeit.....	86
4.8.5.	Redoxpotential.....	87
4.9.	gelöste Nährstoffe.....	88
4.9.1.	Nitrit.....	88
4.9.2.	Nitrat.....	89
4.9.3.	Ammonium.....	90
4.9.4.	Wasserhärte.....	91
4.10.	Belichtung.....	93
5.	Diskussion.....	94
5.1.	Häutungen.....	94
5.2.	Ansteigendes Lichtregime.....	95
5.3.	Ausbildung von Legeschleimdrüsen.....	95
5.4.	Individueller Zuwachs.....	96
5.5.	Mortalität.....	96
5.6.	Futtermittel und Fütterung.....	97
5.7.	Individuelle Markierungen.....	97
5.8.	Gelöste Nährstoffe und Wasserparameter.....	97
5.9.	Verfärbung der Edelkrebse.....	99
5.10.	Zucht und Monosexkultur.....	100
6.	Fazit.....	101
6.1.	Arbeitshypothesen.....	101
6.1.1.	Erste Arbeitshypothese.....	101
6.1.2.	Zweite Arbeitshypothese.....	102
7.	Quellen.....	103

8. Erklärung der selbstständigen Arbeit .....	107
9. Datentabellen .....	108
9.1. Daten der Versuchstiere.....	108
9.1.1. Abkürzungsverzeichnis für die Datenerfassungstabellen .....	108
9.1.2. Daten bei Versuchsbeginn (28.07.2014) .....	109
9.1.3. Daten nach Beendigung des Versuches (30.12.2014).....	111
9.1.4. Häutungen.....	113
9.1.5. Todesfälle .....	114
9.2. Wasserparameter (PondControl) .....	115
9.2.1. Wasserparameter (Hach-Lange Handmessgerät) .....	119
9.3. Nährstoffwerte .....	120

## Anlage 7: Erbrütungsmaschine



## Anlage 8: Genetische Charakterisierung der Edelkrebszucht



### **Genetische Charakterisierung der Edelkrebszucht im Rahmen des *Astacus Stock Raise* - Projektes (AStRa-Projekt)**

Anne Schrimpf, Doreen Roblick, Kathrin Theissing

Universität Koblenz-Landau, Campus Landau

Institut für Umweltwissenschaften

Team „Conservation Genetics“

#### **Einleitung**

Eine hohe genetische Diversität ist für einzelne Populationen und damit der ganzen Art überlebenswichtig, da sie das Adaptionpotential bestimmt. Je höher die genetische Diversität, desto wahrscheinlicher können sich einzelne Populationen an sich ständig ändernde Umweltbedingungen anpassen und desto größer ist ihre Überlebenschance (Frankham et al., 2004, S. 12-13; Primack, 1995, S. 303-310; Souty-Grosset & Reynolds, 2009). Nicht nur vor dem Hintergrund des Klimawandels und den damit beschleunigten Umweltveränderungen, sondern insbesondere im Zusammenhang mit der Einschleppung gebietsfremder Arten, ist es wichtig, dieses Anpassungspotential aufrecht zu erhalten. Gebietsfremde, oder auch invasive Arten, können in Konkurrenz um Lebensraum und Ressourcen zu einheimischen Arten treten und diese verdrängen, Krankheiten übertragen oder durch Vermischung mit einheimischen Arten den lokalen Genpool verändern (Primack, 1995, S. 201-234; Schrimpf, 2013). Daher ist es eines der wesentlichen Ziele im modernen Artenschutz, die genetische Integrität autochthoner Populationen soweit zu erhalten, dass vermeidbarer und unumkehrbarer Verlust genetischer Diversität nicht eintritt (Schliewen et al., 2001, S. 7; Souty-Grosset et al., 2003).

Aus diesem Bestreben heraus werden Artenschutzbemühungen in Form von Wiederansiedelungs- und Besatzmaßnahmen generell kritisch diskutiert. Durch Besatz mit artgleichen allochthonem Material wächst die Befürchtung, fremde Gene in eine Population einzubringen und dadurch autochthone, lokal angepasste Populationen zu beeinflussen oder genetische Variationen zu verlieren (durch z.B. genetischen Drift). Die Effekte, die der Eintrag von invasiven Genen auslösen kann, sind dabei nur schwer abzuschätzen und können weit über den Verlust lokaler genetischer Diversität hinausgehen (Baer et al., 2007, S. 43-53; Schliewen et al., 2001, S. 13-14). Diese negative Entwicklung gilt es aus Artenschutzgründen, aber auch aus Gründen der nachhaltigen Nutzung, zu verhindern. Um dies zu erzielen, ist eine taxonomische Bestimmung unterhalb der Artenebene notwendig (Burnham & Dawkins, 2013). Mit der Entwicklung hochvariabler DNA-Marker hat sich die Möglichkeit ergeben, eine Art nach dem phylogenetischen Artkonzept detaillierter aufzuschlüsseln und so den natürlichen (adaptiven) Differenzierungsgrad von Populationen bis hin zur Variabilität einzelner Individuen zu bestimmen (Burnham &

Dawkins, 2013; Schliewen et al., 2001, S. 7-8). Auf dieser Basis ist es überhaupt möglich, lokalangepasste Populationen und deren Schutzwürdigkeit abschätzen zu können. Aufgrund dessen ist es ein wichtiges angewandtes Forschungsziel im modernen Artenschutz, solch evolutionär bedeutsame Einheiten (ESU) artspezifisch zu identifizieren, die es im Rahmen künftiger Besatzmaßnahmen in der Form zu berücksichtigen gilt, indem die jeweiligen Donorpopulationen aus ein und derselben ESU stammen (Baer et al., 2007; Moritz, 1994, 1999).

Der Edelkrebs ist heutzutage in Deutschland die einzige in Speisekrebszuchten genutzte (heimische) Flusskrebsart. Neben der kommerziellen Produktion als Delikatesse bietet die gezielte Auf-/Nachzucht eine geeignete Möglichkeit, schwache Wildpopulationen in ihrer lokalen Ausprägung zu erhalten (Kozák et al., 2011). Beruhen die Zuchtbestände auf regionalen Populationen sind sie als Spenderpopulationen in den jeweiligen Gewässern gegenüber Wildpopulationen unbekannter Herkunft zu bevorzugen (Kozák et al., 2011). Gerade im Hinblick auf die stark dezimierten Wildbestände kann mit Hilfe der künstlichen Vermehrung eine ausreichende Anzahl an Edelkrebsen gewährleistet werden. Zudem bieten Zuchten mit der Durchführung regelmäßiger Kontrollen die Möglichkeit, einer Übertragung der Krebspest auf Wildpopulationen und ihrer Verbreitung entgegenzuwirken (Kozák et al., 2011). Grundsätzlich aber kann eine Zucht immer nur einen Ausschnitt genetischer Diversität präsentieren. Die Verwendung von einer vergleichsweise geringen Anzahl an Gründertieren kann über Generationen hinweg durch Inzuchtdepression und genetische Drift zu einem Diversitätsverlust führen (genetische Verarmung) (Pies-Schulz-Hofen, 2004, S. 210; Primack, 1995, S. 305). Um die genetische Diversität zu erhöhen und die Produktion zu steigern, könnten die Zuchtbestände insbesondere in bereits seit mehreren Jahren bestehenden Zuchten, mit Edelkrebsen unterschiedlicher Herkunft, d.h. aus unterschiedlichen Flusseinzugsgebieten, vermischt worden sein. Die Verwendung von Tieren unterschiedlicher Herkunft führt zwar kurzfristig zu einer Erhöhung genetischer Diversität, kann jedoch langfristig zu einer Verdrängung lokaler Bestände und damit zu einer Homogenisierung des Edelkrebses führen. Je länger die Zuchthalterung, desto größer ist auch die Wahrscheinlichkeit für ungünstige, also vom Wildtyp abweichende Verhaltensweisen mit reduzierter Fitness und desto geringer sind die Erfolgsaussichten für eine Wiederansiedelung in natürlichen Habitaten (Carlstein, 2004; Kozák et al., 2011).

Unter dem Leitsatz "Schutz durch Nutzen" im Rahmen des *Astacus stock raise* - Projektes (AStRa-Projekt) am Institut für Marine Ressourcen GmbH (imare) dienen die Zuchtbestände der Poggenhagener Edelkrebszucht Göckemeyer in Neustadt (Niedersachsen) gegenwärtig als Modellorganismen für die Entwicklung eines geschlossenen Kreislaufsystems zur nachhaltigen Besatzkrebszucht. Mit der Aufzucht von Edelkrebsen begann die Familie Göckemeyer im Jahr 2000 (Hagedorn, 2011). Insgesamt zwei Edelkrebsstämme werden dort separat nachgezüchtet: der Harzer und der Sollinger Stamm. Für den Aufbau des Harzer Bestandes wurden sowohl Tiere aus der Zucht von Helmut Jeske (Oeversee, Schleswig-Holstein) als

auch aus lokalen Gewässern im Harz benutzt (Familie Göckemeyer, persönl. Mitteilung). Daher wird dieser dem Eider- und dem Wesereinzugsgebiet zugeordnet. Im Jahr 2008 wurde dann der vermutlich letzte autochthone Edelkrebsbestand in Niedersachsen aus dem isolierten Mittelgebirge Sollingen im Wesereinzugsgebiet (29 Tiere) in die Zuchtanlage überführt und seither separat, mit dem Ziel diesen Genstamm gesondert zu erhalten, nachgezüchtet (Familie Göckemeyer, persönl. Mitteilung). Mehrere 10.000 Edelkrebssetzlinge des Harzer Stammes wurden bislang erzeugt und überwiegend im norddeutschen Raum für Wiederansiedlungsmaßnahmen und Bestandaufbauten neuer Zuchten zur Verfügung gestellt (Familie Göckemeyer, persönl. Mitteilung). Die Zucht selbst liegt im Einzugsgebiet der Weser.

Ziel dieser Studie ist es, die Edelkrebszuchtbestände des AStRa-Projektes mit Hilfe moderner Markersysteme genetisch zu charakterisieren, um eine Aussage bezüglich ihrer Eignung als potentes Besatzmaterial für Wiederansiedlungsmaßnahmen im Rahmen künftiger Artenschutzprogramme innerhalb Deutschlands treffen zu können. Hierfür wurden neben dem Harzer und dem Sollinger Stamm noch natürliche, norddeutsche Populationen (N = 3) aus dem europäischen Gesamtdatensatz von Schrimpf (2013) und weitere Zuchten (N = 2) aus der Arbeit von Roblick (2013) verwendet.

Es soll dabei gezielt auf folgende Fragestellungen eingegangen werden:

- genetische Diversität: Wie divers sind die einzelnen Satzkrebszuchten? Bedingt durch artifizielle Halterungsbedingungen und dem möglichen Risiko einer genetischen Verarmung ist eine eher geringere genetische Diversität im Vergleich zu natürlichen Populationen zu erwarten.
- genetische Integrität: Inwieweit entsprechen die Zuchtbestände in ihrer genetischen Ausstattung ihren angestammten Gewässersystemen (Flusseinzugsgebiete: Eider, Weser)?

Die Analyse erfolgte mittels zweier molekularer Marker. Mit Hilfe der Sequenzierung zweier kombinierter mitochondrialer DNA-Abschnitte (Cytochrome-Oxidase Untereinheit I und 16SrRNA) lassen sich autochthone bzw. lokaltypische Genvarianten identifizieren (phylogenetische Verwandtschaft). Zur Bestimmung der genetischen Diversität innerhalb und der genetischen Differenzierungen zwischen den Satzkrebspopulationen sowie zu ihren angestammten Populationen wird eine Mikrosatellitenanalyse anhand sechs artspezifischen polymorphen Loci durchgeführt. Als Referenz für den Vergleich mit der natürlichen Edelkrebsstruktur in Deutschland dient der europaweite Datensatz gemäß Schrimpf (2013).

### Molekulargenetische Analysemethoden

Um die verschiedenen Fragestellungen bearbeiten zu können, wurden zwei molekulare Marker, mitochondriale DNA-**Sequenzen** und **Mikrosatelliten**, kombiniert verwendet. Während sich das mitochondriale Genom gut für phylogenetische Studien (taxonomische Identifikation) eignet, werden Mikrosatelliten besonders für populationsgenetische Diversitätsbestimmungen genutzt und wegen ihrer kodominanten Vererbung und dem hohen Informationsgehalt und Auflösungsvermögen gegenüber anderen Markern bevorzugt (Selkoe & Toonen, 2006).

**Sequenzen.** Bei Flusskrebsen haben sich besonders das protein-kodierende Gen Cytochrome-Oxidase Untereinheit I (COI) und das 16S rRNA-Gen (16S) als zuverlässige Marker etabliert und finden neben phylogenetischen Untersuchungen auch für populationsgenetische Fragestellungen Anwendung. Basierend auf dem euroweiten Referenzdatensatz (Schrimpf, 2013) werden sie im Rahmen dieser Studie genutzt, um die phylogenetische Verwandtschaft der Satzkrebspopulationen zu bestimmen und autochthone bzw. fremde/lokaluntypische Haplotypen in diesen zu identifizieren. Sie dienen damit einer Einschätzung des Introgressionszustandes der gesamten Population, eignen sich jedoch nicht hinreichend genug für die Klassifizierung einzelner Individuen. Bedingt durch die rein maternale Vererbung können Individuen gemischter Herkunft nicht eindeutig als solche erkannt werden. Das macht die Anwendung weiterer genetischer Methoden, welche Teile des nukleären Genoms berücksichtigen, notwendig.

**Mikrosatelliten.** Mit Hilfe der Mikrosatellitenanalyse können verschiedene populationsgenetische Parameter bestimmt werden, um die genetische Diversität innerhalb der Satzkrebspopulationen und deren rezenten genetischen Differenzierungen zu analysieren. Die dabei verwendeten statistischen Analysen beruhen auf biologischen Modellen. Der wohl wichtigste Parameter im Zusammenhang mit kodominant vererbten Markern ist der Heterozygotiegrad, der ein geeignetes Maß für die genetische Diversität innerhalb von Populationen darstellt (Frankham et al., 2004).

**DNA-Extraktion.** Die Gewinnung der genomischen Edelkrebs-DNA erfolgte aus den in Ethanol konservierten Flusskrebsgliedmaßen gemäß einer Standard-extraktionsmethode ("Rapid isolation of Mammalian DNA") nach Sambrook und Russel (2001). Die Benutzung der Gliedmaßen als Probematerial ist dabei ein wenig invasives Verfahren, da Extremitäten bei Flusskrebsen nach einigen Häutungsvorgängen regeneriert werden können (Hofmann, 1971, S. 23).

**PCR und Fragmentanalyse.** Die Amplifikation der DNA, sowohl für die mtDNA-Sequenzierung als auch für die Mikrosatellitenanalyse, wurde mit Hilfe der PCR auf einem Primus 96 Thermocycler durchgeführt. Die Größenauffrennung und Detektion der fluoreszenzmarkierten DNA-Fragmente erfolgte im Beckmann Coulter CEQ 8000 Acht-Kapillarsequenzierer.



## Statistische Analysemethoden

**Sequenzen.** Zur Bestimmung genetischer Variabilität wurden die **Haplotypenanzahl**  $H_N$  und die **Haplotypendiversität**  $H_D$  mit dem Programm DnaSP Version 5.10.1 (Rozas et al., 2010) für jede Satzkrebspopulation bestimmt. Alle identifizierten Haplotypen wurden in das europaweite "Median-Joining" Haplotypen-Netzwerk" (Schrimpf, 2013) mittels farbiger Markierung eingeordnet.

**Mikrosatelliten.** Für die Abschätzung der genetischen Variabilität innerhalb der einzelnen Satzkrebspopulationen wurden die **erwarteten Heterozygotiewerte**  $H_E$  für jede Population gemittelt über alle Loci berechnet. Des Weiteren wurden die **Anzahl der Allele**  $A_N$  und **privaten Allele**  $A_P$  pro Population bestimmt. Diese Analysen wurden mit Hilfe des Programms GDA Version 1.1 (Lewis & Zaykin, 2004-2006) pro Population über alle Loci berechnet. Mit Hilfe der **Faktoriellen Korrespondenzanalyse (FKA)** wurden aus den Mikrosatellitendaten die Allelfrequenzen berechnet, mit denen sich die einzelnen Satzkrebspopulationen in den Referenzdatensatz aufgrund ihrer Variabilität zueinander einordnen lassen. Diese Beziehung lässt sich dabei graphisch in Form von Punktwolken ähnlicher Allelfrequenzen darstellen. Die Analyse erfolgte mit dem Programm GENETIX Version 4.05 (Belkhir et al., 1996-2004).

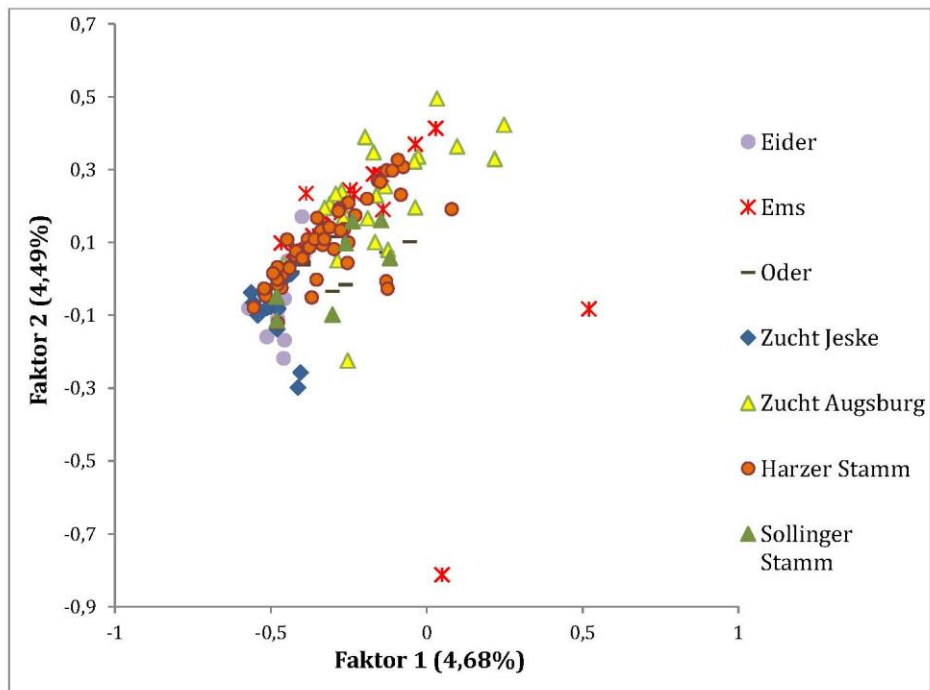
## Ergebnisse

Eine Übersicht der ermittelten genetischen Ergebnisse des Harzer und des Sollinger Stamms anhand der Sequenz- und Mikrosatellitendaten im Vergleich zu weiteren Zuchten und norddeutschen natürlichen Populationen ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1. Übersicht der ermittelten genetischen Ergebnisse. **Mikrosatelliten:** Anzahl an Mikrosatelliten-Proben, Anzahl an Allelen in einer Zucht/Population, Anzahl an Allelen pro Probe, erwartete Heterozygotie, Anzahl privater Allele. **Sequenzen:** Anzahl an Sequenzen, Anzahl an Haplotypen, Haplotypendiversität.

Population	Mikrosatelliten					Sequenzen		
	#MicSat	#Allele	Allele/ Proben	$H_E$	$A_P$	#Seq	$H_N$	$H_D$
Harzer Stamm	61	35	0.574	0.343	1	10	3	0,378
Sollinger Stamm	10	15	1.500	0.249	0	10	3	0,622
Zucht Keller	24	32	1.333	0.550	1	15	5	0,640
Zucht Jeske	18	13	0.722	0.196	0	10	2	0,200
Langsee (Eider)	14	15	0.07	0.22	0	9	2	0,222

**Mikrosatelliten.** Anhand der sechs analysierten Loci war eine Ähnlichkeit des Harzer und des Sollinger Stammes zu zentraleuropäischen Populationen festzustellen. Aus der FKA (Abbildung 2) geht hervor, dass die beiden Zuchtstämme genetisch den norddeutschen Populationen ähneln und auch im Vergleich zu anderen Zuchten relativ divers sind. Edelkrebse des Harzer Stammes gruppieren sowohl mit Tieren von der Zucht Jeske als auch mit Tieren der Zucht von Keller. Der Harzer Stamm scheint vergleichsweise genetisch diverser zu sein als der Sollinger Stamm, was an der breit gestreuten Punktwolke zu ersehen ist.



**Abbildung 2:** Faktorielle Korrespondenz Analyse (FKA) der Satzkrebspopulationen im Vergleich zu den natürlichen Edelkrebspopulationen. Jedes Symbol repräsentiert ein Individuum, Individuen mit gleich gefärbten Symbolen gehören zur gleichen Population. Je weit gestreute eine Gruppe von Individuen (Punktwolke), desto genetisch diverser ist diese Gruppe.

### Schlussfolgerungen

Anhand der erhobenen genetischen Daten beider Marker geht hervor, dass die genetische Diversität der beiden Zuchtstämme Harz und Solling vergleichsweise hoch ist. Es ist ersichtlich, dass beide Stämme getrennt voneinander weitergezüchtet wurden, was vor allem durch die Mikrosatellitenanalyse unterstützt wird. Wir empfehlen auch in Zukunft eine getrennte Haltung der beiden Stämme, um die hohe Anzahl an Haplotypen und Allelen zu erhalten.

Bezüglich der genetischen Integrität der Zuchtbestände im Vergleich zu ihren angestammten Flusseinzugsgebieten bzw. zu der Zucht, aus der der Harzer-Stamm u. a. begründet wurde, zeigte sich eine gewisse genetische Ähnlichkeit. Auf Grund der genetischen Daten kann jedoch auch der Einfluss von „Keller-Tieren“ nicht ausgeschlossen werden.

Durch die hohe genetische Diversität eignen sich beide Stämme für eine Zucht und den Besatz in Norddeutschen Flusseinzugsgebieten.

### Literatur

- Baer, J., George, V., Hanfland, S., Lemcke, R., Meyer, L. & Zahn, S. (2007). *Gute fachliche Praxis fischereilicher Besatzmaßnahmen*. Schriftenreihe des Verbundes Deutscher Fischereiverwaltungsbeamter und Fischereiwissenschaftler e.V., Heft 14. Verfügbar unter [http://www.vdff-fischerei.de/fileadmin/daten/pdf-Dokumente/Veroeffentlichungen/Heft\\_14\\_Besatzmassnahmen\\_Baer\\_et\\_al\\_\\_2007.pdf](http://www.vdff-fischerei.de/fileadmin/daten/pdf-Dokumente/Veroeffentlichungen/Heft_14_Besatzmassnahmen_Baer_et_al__2007.pdf)
- Burnham, Q. & Dawkins, K. (2013). The role of molecular taxonomy in uncovering variation within crayfish and the implications for conservation. *Freshwater Crayfish*, 19 (1), 29–37.
- Carlstein, M. (2004). Growth and survival of European grayling reared at different stocking densities. *Aquaculture International* (3), 260–264.
- Frankham, R., Ballou, J. D. & Briscoe, D. A. (2004). *A primer of conservation genetics*. Cambridge [u.a.]: Cambridge Univ. Press.
- Hagedorn, J. (2011, 28). Wiederentdeckte Delikatesse. *Bremervörder Zeitung*. Zugriff am 21.08.2013. Verfügbar unter [http://www.brv-zeitung.de/nachrichten/norddeutschland\\_artikel,-Wiederentdeckte-Delikatesse-\\_arid,556279.html](http://www.brv-zeitung.de/nachrichten/norddeutschland_artikel,-Wiederentdeckte-Delikatesse-_arid,556279.html)
- Hofmann, J. (1971). *Die Flußkrebse. Biologie, Haltung und wirtschaftliche Bedeutung*. Hamburg [u.a.]: Paul Parey.
- Kozák, P., Füreder, L., Kouba, A., Reynolds, J. & Souty-Grosset, C. (2011). Current conservation strategies for European crayfish. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.*, 401 (01), 01p1-01p8.
- Moritz, C. (1994). Defining 'evolutionary significant units' for conservation. *Trends Ecol. Evol.* (9), 373–375.
- Moritz, C. (1999). Conservation units and translocations: strategies for conserving evolutionary processes. *Hereditas* (130), 217–228.
- Pies-Schulz-Hofen, R. (2004). *Die Tierpflegerausbildung. 45 Tabellen* (3., vollst. überarb. und erw. Aufl). Stuttgart: Paul Parey.
- Primack, R. B. (1995). *Naturschutzbiologie*. Heidelberg, Berlin, Oxford: Spektrum, Akad. Verl.
- Sambrook, J., Russel, D. W., Fritsch, E. F. & Maniatis, T. (2001). *Molecular cloning. A laboratory manual* (3. Edition). Cold Spring Harbor, NY: Cold Spring Harbor Laboratory Press.

- Schliewen, U., Engelbrecht, C., Rassmann, K., Miller, M., Klein, L. & Tautz, D. (2001). Molekulare und populationsökologische Charakterisierung autochthoner und durch Besatz beeinflusster Salmoniden-Populationen (Bachforelle, Alpen-Seesaibling) in Bayern. Veränderung der genetischen Diversität. *Forschungsbericht 29685900, UBA-FB 000188*. Im Auftrag des Umweltbundesamt.
- Schrimpf, A. (2013). DNA-based methods for freshwater biodiversity conservation. Phylogeographic analysis of noble crayfish (*Astacus astacus*) and new insights into the distribution of crayfish plague. Dissertation, Universität Koblenz-Landau. Landau i. d. Pfalz. Zugriff am 09.08.2013. Verfügbar unter [http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/879/pdf/Dissertation\\_Schrimpf.pdf](http://kola.opus.hbz-nrw.de/volltexte/2013/879/pdf/Dissertation_Schrimpf.pdf)
- Selkoe, K. A. & Toonen, R. J. (2006). Microsatellites for ecologists: a practical guide to using and evaluating microsatellite markers. *Ecol Letters*, 9 (5), 615–629.
- Souty-Grosset, C., Granjean, F. & Gouin, N. (2003). Involvement of genetics in knowledge, stock management and conservation of *Austropotamobius pallipes* in Europe. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* (370-371), 165–179.
- Souty-Grosset, C. & Reynolds, J. D. (2009). Current ideas on methodological approaches in European crayfish conservation and restocking procedures. *Knowl. Managt. Aquatic Ecosyst.* (1), 394–395.

## Anlage 9 Wirtschaftlichkeitsanalyse – Edelkrebs

Wirtschaftlichkeitsanalyse für die Zucht des europäischen Edelkrebse Astacus astacus

**Erstellt von: Michael W. Ebeling**

**Auftraggeber: Alfred-Wegener-Institut, Helmholtz-Zentrum für Polar- und Meeresforschung, Herr U. Seemann, Am Handelshafen 12, 27570 Bremerhaven**

### **Auftrag:**

Der Auftrag umfasste die Analyse der Wirtschaftlichkeit einer Edelkrebszucht. Hierzu waren die Erstellung einer Kostenvergleichsrechnung, eine Break-Even-Analyse und eine dynamische Investitionsrechnung vereinbart. Zudem steht der Autor für weitere Fragen und ggf. Anpassungen im Nachgang zu der Übergabe dieser Analyse zur Verfügung.

Die erforderlichen biologischen Daten wurden auf Anfrage vom AWI, hier Herrn Seemann, zur Verfügung gestellt.

### **Anlagendesign- und management:**

Bezüglich des Produktionsdesigns sind Annahmen zu treffen. Um eine regelmäßige Marktversorgung zu gewährleisten, wird bei einer gegebenen Aufzuchtdauer bis zur Marktreife von drei Jahren (36 Monate bis zum Gewicht von 100 g/Stück, Angaben vom AWI, dabei wurden bewusst konservative Wachstumswerte aus den Experimenten zugrunde gelegt) von drei Kohorten ausgegangen, also der Möglichkeit, jedes Jahr marktreife Krebse von jeweils etwa 100 g/Stück zu verkaufen. Es wird eine Einheit für die Elterntiere angenommen. Die jungen Krebse werden dann gemäß den aus den Experimenten des AWI resultierenden Besatzdichten altersgemäß auf die Becken verteilt. Die Fütterung erfolgt maschinell und die Reinigung per Hand.

Alternativ besteht die Möglichkeit, die Krebse nach einer anfänglichen Aufzucht von 1-2 Jahren in der eigenen Kreislaufanlage in Abwachsteiche umzusetzen. Dabei können die Tiere Nährstoffe von den Fischen und aus der natürlichen Umgebung aufnehmen, was den Futtereinsatz deutlich reduziert. Dies führt jedoch zu längeren Auswuchszeiten. Außerdem sind die Mortalitäten im Teich deutlich höher und die möglichen Besatzdichten deutlich geringer bei einer insgesamt schlechteren Kontrollmöglichkeit der Tiere. Diese Möglichkeit wird abschließend betrachtet. Schließlich gibt es bereits in der Produktion die Alternative, bestehenden Kreislaufanlagen zu nutzen und die Krebse ergänzend in der bestehenden Anlage aufzuziehen. Auch diese Produktionsalternative wird betrachtet.

Zuerst wird die reine eigenständige RAS-Aufzucht untersucht. Hierzu wird eine Produktionshalle mit 56 x 60 Metern angenommen. In ihr werden 8 Reihen á 10 Becken (4,6 m mal 4,6 m) nebeneinander in einem Abstand von 1 m aufgestellt. Zwischen den 8 Reihen wird ein Abstand von 1,5 m einkalkuliert, um ungehindert Zugang zu den Becken, ggf. auch mit größerem Gerät, zu haben. Da die Tiere mit Besatzdichten von 30 Tieren pro qm im Alter von 2- 3 Jahren, 70 Tieren pro qm ab einem Alter von einem Jahr und mit einer Besatzdicht von 140 Tieren/qm bis zum Alter von einem , Jahren gehalten werden sollen, ergibt sich für die mittleren Jahrgänge ein doppelt so großer Platzbedarf und für die ältesten ein Platzbedarf um den Faktor 2,33 größer als für mittlere. Deshalb wird eine Reihe mit den bis zu ein Jahr alten Tieren besetzt, zwei mit den 1-2 jährigen und fünf mit den über zwei Jahre alten Krebsen. Insgesamt werden drei Alterskohorten in der Anlage parallel aufgezogen. In einem separaten Bereich werden die Elterntiere gehalten.

### **Methodik:**

Es wird angenommen, dass die Krebse in einer neuen Kreislaufanlage drei Jahre auswachsen. Es gibt keine Kombination mit anderen Produktionen, damit sind die vollen Kosten zu ermitteln und werden in einer Vollkostenrechnung aufgeführt. Anschließend wird der Break-Even-Punkt je Krebs berechnet. Schließlich wird in einer dynamischen Investitionsrechnung der Zahlungsmittelstrom über den Zeitraum von 25 Jahren kalkuliert und der Barwert ermittelt.

Da jedoch auch die Möglichkeit geprüft werden sollte, ob die Krebse als Ko-Art z.B. einer Forellenzucht aufgezogen werden können, werden die Kostenbestandteile nach fixen und variablen Kosten unterschieden. Im Falle der Nutzung als Ko-Art sind nur die zusätzlich durch die Krebszucht anfallenden Kosten entscheidungsrelevant.

### **Kosten:**

Es entstehen verschiedene Kostenpositionen: Als erstes das Gebäude und das Grundstück; dann die Becken, die Verrohrung, die Filter, die Pumpen und die Steuerungssysteme. Daneben benötigen die Krebse Futter. Weiterhin müssen Arbeitskräfte für die Fütterung, Reinigung, und Überwachung der Anlage inklusive Ernte berücksichtigt werden. Die Krebse benötigen einen Unterschlupf und für die Erbrütung der Eier wird eine Erbrütungsmaschine berücksichtigt. Energiekosten fallen für die Aufrechterhaltung des optimalen Temperaturregimes an. Für administrative Zwecke wird eine einfache Büroeinheit mit eingerechnet. .

Im Folgenden werden die Kosten der Art nach einzeln aufgeführt und mit Preisen versehen. Die Preise stammen vornehmlich von einschlägigen Herstellern und sind jeweils, sofern nicht anders beschrieben, gemäß den erfragten oder, sofern erhältlich, nach den Listenpreisen (vgl. z.B. [www.aquacultur.de](http://www.aquacultur.de)) bewertet. Ansonsten wurden Erfahrungswerte angesetzt (Die Quellen können auf Anfrage gerne geliefert werden).

#### Fixe Kosten:

Grundstück	5.000 Quadratmeter á 20 € pro Quadratmeter
Gebäude	Halle mit 56 mal 60 m, inkl. Büro, Bad, kleines Lager etc., Kosten etwa 1.000.000 €
Büro+ Geschäftsausstattung	Pauschal für Möbel, Computer, Drucker, Fax, Tische etc. 10.000 €
Becken	83 rechteckige Becken á etwa 21 qm und 1 m Höhe, je 8.300 €
Eierbrütungsmaschine	etwa 9.000 €
Futterautomaten	inkl. Steuergerät, Kabel etc. für 83 Becken etwa 60.000 €
Filter	10 Filter für je 5 m <sup>3</sup> á 6.700 Euro
Kaltwassersätze/ Wärmepumpe	etwa 30.000 €
Rohre/Schläuche	1000 Meter á 40 mm Durchmesser incl. Verbindungen etwa 2,5 €/m
Pumpen	2 Stück mit Leistung 30m <sup>3</sup> /h á 1.700 €

Steuerungssystem	Eine Einheit á 15.000 €
Unterschlupfmöglichkeit	je Krebs etwa 1 €
UV-Anlage	4.700 €, mit 4 x 120 Watt
Kleine Laboreinheit (Waagen, Abstreifgeräte, etc.)	Pauschal 10.000 €
Sonstige fixe Kosten	Hier erfahrungsgemäß mit einem Aufschlag von 10 % auf die Abschreibungssumme berechnet
<b><u>Variable Kosten:</u></b>	
Arbeitskräfte	3 Fischwirte, 3 Aushilfen, 1 Betriebsleiter (z.B. Wirtschaftsingenieur)
Futter	Je Tier etwa 740 g bis zum Verkauf: 1. Jahr 17 g, 2. Jahr 90 g, 3. Jahr 633 g, Elterntiere á 150 g á etwa 1,6 kg Futter pro Jahr
Energieverbrauch	15 % der variablen Kosten
Frischwasser	1% Wasseraustausch pro Tag, Wasservolumen etwa 500 m <sup>3</sup> , in sonstige variable Kosten enthalten.
Abfallentsorgung	in sonstigen variablen Kosten enthalten
Sonstige variable Kosten	Annahme 10 % Aufschlag auf Summe der variablen Kosten, enthalten sind auch die Kosten für Kunststofffilterwolle
<b><u>Mischkosten:</u></b>	
Reparatur + Instandhaltung	Erfahrungswert von 5-10%, je nach Wirtschaftszweig, hier 7% der Anlagenkosten

Die Nutzungsdauer der einzelnen Komponenten ergibt sich aus Erfahrungswerten, Nachfragen bei Anlagenbetreibern und den Abschreibungstabellen des Bundesministeriums für Finanzen. Sie werden in Tabelle 1 dargestellt.

### **Erträge:**

Gemäß den Angaben des Auftraggebers wird mit erzielbaren Preisen von 30-40 € ausgegangen. Ein Krebs hat bei Verkauf nach 3 Jahren etwa eine durchschnittliche Größe von 125g, so dass mit 4,5 und 6 € pro Stück kalkuliert wird. Dies erscheint bei den größeren Absatzmengen realistisch zu sein, obwohl gegenwärtig auf dem Markt für kleine Mengen aus Teichanlagen durchaus 70 € pro Kilo bezahlt werden. Bei der Kapitalwertberechnung werden ebenfalls 4/5/6/ € pro Stück ex Farm Preise unterstellt.

### **Tabelle 1: Nutzungsdauern und daraus resultierende jährliche Abschreibungen**

Position	Anschaffungspreis €	Nutzungsdauer	Jährliche Abschreibung in €
Gebäude	1.000.000	25	40.000
Büro+ Geschäftsausstattung	10.000	5	2.000
Becken	690.000	10	69.000
Eierbrütungsmaschine	9.000	10	900
Filter	67.000	10	6.700
Kaltwassersätze/Wärmepumpe	30.000	10	3.000
Fütterungsautomaten	60.000	10	6.000
Rohre/Schläuche	25.000	10	2.500
Pumpen	3.400	5	680
Steuerungssystem	15.000	10	1.500
Unterschlupfmöglichkeit	88.500	10	8.850
UV-Anlage	4.700	8	587,5
Kleine Laboreinheit	10.000	8	1.250
Kfz	50.000	5	10.000
Elterntiere	4.500	10	450
Summe	2.067.100		153.387,5

Das Grundstück wird nicht abgeschrieben, jedoch mit den Kapitalkosten in Höhe von 3 % angesetzt. Die 3 % ergeben sich als Zinssatz für hypothekarisch abgesichertes Fremdkapital und liegen im oberen Bereich der derzeit üblichen Zinssätze. Damit ergibt sich folgende Kostenvergleichsrechnung, wie sie in Abbildung 1 dargestellt ist. Für die übrigen Investitionen wird eine Verzinsung von 6 % angesetzt. Diese stellt entweder den Fremdkapitalzins dar oder die Verzinsung des Eigenkapitals (kann auch als Opportunitätskosten einer alternativen Verwendung betrachtet werden). Einkalkuliert ist eine Risikoprämie, da eine Aquakulturanlage ein höheres Risiko als z.B. eine Arztpraxis darstellt. Es wird hier somit ein gleich hoher Zinssatz für den Produktionsfaktor Kapital angenommen, egal wie die konkrete Finanzierung dann aussehen würde. Es wird gemeinhin angenommen, dass sich der Kapitalverbrauch gleichmäßig über die Betrachtungsperiode verteilt und zudem die Erlöse den tatsächlichen Kapitalverbrauch im Laufe des Jahres reduzieren (es wird gemeinhin eben nicht der ganze Lohn der Arbeiter und das ganze Futter am Jahresbeginn gezahlt, zudem erfolgen Rückflüsse in Form der Erträge). Deshalb wird als Grundlage des anzuwendenden Zinssatzes die Hälfte der im Laufe eines Jahres anfallenden Kapitalbedarfe angesetzt, also halbes Umlauf- und Anlagevermögen. Das Futter ergibt sich als Summe der oben pro Jahr angegebenen Mengen für jede der drei Kohorten á 29.493 Tiere, plus den Bedarf für 450 Elterntiere. Es werden drei ausgebildete Fischwirte nebst drei Aushilfen als Arbeitskräfte kalkuliert. Hinzu kommt ein Betriebsleiter, der möglichst kaufmännisch und technisch versiert ist, z.B. ein Wirtschaftsingenieur.



**Abbildung 1: Kostenanalyse für eine Edelkrebbsfarm, Betrachtungszeitraum 1 Jahr bei eingefahrener Anlage**

	Beschreibung	Einheit	Menge	Preis/Einheit	Gesamtwert
<b>Umsatzerlöse</b>		Stück	29.493	5 €	<b>147.465</b>
<b>Variable Kosten</b>					
Futter	Art und Preis nach Angaben des AWI	Tonne	22,7	800	18.160
Löhne und Gehälter	100.000 € für den Betriebsleiter/33.000 € per Mann-Jahr/5.400 € pro Aushilfe	Jahresbrutto	1/3/3	100.000/33.000/5.400	215.200
Reparatur und Wartung	Aufschlag von 7 % auf Abschreibung	Total	1	10.737	10.737
Sonstiges (inkl. Wasser)	Kalkuliert als 10% der variablen Kosten	Total	1	32.546	32.546
Energie	Kalkuliert als 15% der variablen Kosten				
		Total	1	54.811	48.819
Zinsen auf betriebsnotwendiges Umlaufvermögen	6%	Total	325.463/2	0,06	9.764
<b>Gesamte variable Kosten</b>					<b>335.227</b>
Fixe Kosten -Abschreibungen (vgl. Tabelle 1)		Total	1	153.388,5	153.387,5
Sonstiges	Versicherungen etc. (Annahme: 10 % der Abschreibungen)	Total	1	15.338	15.338
Zinsen auf betriebsnotwendiges Anlagekapital inkl. Grundstück	Annahme: 6 %	Total	2.067.100/2	0,06	62.013
	Grundstück 3 %	Kaufpreis	100.000	0,03	3.000
<b>Gesamte fixe Kosten</b>					<b>233.738,5</b>
<b>Gesamtkosten</b>					<b>-568.965,5</b>
<b>Umsatzerlöse</b>					<b>147.465</b>
<b>Betriebsverlust</b>					<b>421.500,5</b>
<b>Break-even Preis</b>					
<b>Break-Even-Preis über variable Kosten</b>					<b>11,36 €</b>
<b>Break-Even-Preis über gesamte Kosten</b>					<b>19,29 €</b>

Die Methoden der dynamischen Investitionsrechnung berücksichtigen die unterschiedlichen Zahlungszeitpunkte der Geldströme, indem sie alle Geldströme mit dem sogenannten Kalkulationszinssatz auf einen gemeinsamen Vergleichszeitpunkt auf- bzw. abzinsen. Der Kalkulationszinssatz drückt dabei sowohl das Risiko und den Preis der Geldanlage als auch die entgangenen Gewinnchancen aus alternativen Verwendungen. Üblich ist bei Aquakulturprojekten ein Kalkulationszinssatz von um 7 % (zur Diskussion dieses Wertes vgl. z.B. Buck et al.2010). Da gegenwärtig international recht geringe Zinssätze üblich sind, sinkt der Preis des Kapitals entsprechend. Dies führt zu einem geringeren Kalkulationszins. Die Berechnungen wurden alternativ für 5 %, 6 % und 7 % und 5, 6 und 7 € Ertrag pro Tier durchgeführt. Die Ergebnisse der Kapitalbarwertberechnung liegen alle weit deutlich im negativen Bereich (unter -4 Millionen Euro), wie angesichts der Vollkostenrechnung auch nicht anders zu erwarten war, da ja die Produktion noch nicht einmal ihre variablen Kosten deckt. Deshalb werden die Werte hier auch nicht einzeln aufgeführt, sondern zusammen bewertet:

Allgemein gilt, dass ein positiver Kapitalbarwert ( $>0$ ) für die Wirtschaftlichkeit einer geplanten Investition spricht und ein negativer Barwert für unwirtschaftliche Projekte spricht. Hier sind alle Werte deutlich im negativen Bereich.

### **Bewertung der Kreislaufanlagenaufzucht**

Es zeigt sich, dass bei angenommenem Design der Anlage, den ermittelten Kosten und den experimentellen Werten der biotischen Parameter die Wirtschaftlichkeit einer Edelkrebszucht bei Preisen ab etwa 20 €/Stück gegeben wäre (Kosten-/Gewinnvergleichsrechnung). Dieser Preis liegt deutlich über den derzeitigen Marktpreisen aus Teichwirtschaft (etwa 7 €/Tier, laut Züchterangaben (<http://www.edelkrebszucht.at/preise/>) wiegen die Tiere etwa 110 g und sind damit etwas leichter als die hier produzierten Krebse). Wichtig und unerlässlich wäre natürlich, wenn sich überhaupt dauerhaft Preise von 20 € erzielen ließen, die Schaffung eines sicheren Absatzmarktes, wie er vermutlich z.B. durch Kunden im Bereich der gehobenen Gastronomie in größeren Städten, Spezialitätengeschäfte oder Kreuzfahrtschiffe erzielbar wäre. Welche Preise dort dauerhaft angesichts der produzierten Mengen erzielt werden können, ist ebenfalls zu evaluieren und war nicht Bestandteil dieses Auftrages. Die Logistikkette käme evtl. hinzu, kann aber auch evtl. durch bestehende Dienstleister gewährleistet werden (z.B. Deutsche See?). In den hier vorgenommenen Berechnungen wurde vom direkten Abverkauf ab Hof ausgegangen. Im Ergebnis ist angesichts der Vollkostenrechnung von einer deutlichen Unwirtschaftlichkeit einer reinen Edelkrebs-Kreislaufanlage auszugehen.

Auch wenn sich evtl. noch weitere Optimierungspotentiale erschließen lassen würden, wie z.B. die Reduzierung des Arbeitseinsatzes als wesentlicher Kostenfaktor, das Lichtregime, die Auslesezeit, Besatzdichten etc., erscheint das Betreiben einer reinen Edelkrebszucht weit jenseits einer möglichen Wirtschaftlichkeit.

### **Alternative: Ko-Nutzung in Fischteichen**

Potentiell erfolgsversprechender könnte die Aufzucht der Edelkrebsse als Ko-Art in bestehenden Kreislaufanlagen sein, wo diese nur mit den zusätzlichen Kosten berücksichtigt werden müssten. Da die Krebse zudem Abfallprodukte aus der Fischzucht essen, sind hier Einsparpotentiale auf Seiten der

Wasserreinigung für die Fischzucht, aber auch der Futterkosten für die Krebse zu erwarten. Es bedarf jedoch vermutlich einer mechanischen Trennung der Krebse von den Fischen, dies ließe sich aber recht einfach, z.B. durch einen Gitterrost, bewerkstelligen. Jeder Preis über den zusätzlichen Kosten der Krebse aufzucht würde zu zusätzlichen Einnahmen zur Deckung der Kosten in der Fischzucht bzw. zusätzlichen Gewinnen führen. Vermutlich müssten die Becken etwas größer ausfallen, während die Eierbrütungsmaschine evtl. für beide Arten genutzt werden könnte. Auch würden keine zusätzlichen Energiekosten anfallen, wenn man die Krebse zu einer Art setzte, die ein ähnliches Temperaturregime bevorzugt. Kosten für Futter (umgerechnet pro Tier ca. 60 ct/Jahr), Unterschlupf (bei Mehrfachverwendung etwa 0,2 € pro Tier) sowie Kunststofffilterwolle und sonstiges (0,5 € pro Tier) bewegen sich in der Summe unter 1,50 €, und damit in Bereichen, die eine Ko-Nutzung einer Kreislaufanlage für andere Arten wie z.B. Fische mit den Edelkrebsen aus ökonomischer Sicht als deutlich vorteilhaft erscheinen lassen.

Besonders wenig zusätzlichen Aufwand in Form von mechanischer Trennung u.ä. erscheint eine Ko-Nutzung von Karpfenteichen zu versprechen. Es wird hier gemäß den Angaben des Auftraggebers angenommen, dass pro Quadratmeter Teichfläche mind. Zwei Tiere auswachsen können. In der Kreislaufanlage werden z.B. drei genetisch unterschiedliche Stämme (wenn das Ziel die Wiederansiedlung dieser Stämme wäre) herangezogen und nach etwa einem Jahr in bestehende Karpfenteiche gesetzt. Dort können die Tiere weitere 3 Jahre auswachsen, um dann mit den Karpfen geerntet und verkauft zu werden. Dabei ist zu beachten, dass die Karpfenteiche jährlich entleert werden, die Krebse also zuerst 2-3 mal wieder eingesetzt werden müssen, sollte die Abfischungsmethode dies erforderlich machen. Der Zufütterungsbedarf ist deutlich geringer, hier werden gemäß den Angaben des Auftraggebers von max. 1 % des Körpergewichts pro Tag angenommen. Die Tiere können sich nämlich zu großen Teilen von den natürlichen Nährstoffen der Karpfenteiche bedienen. Als Mortalitätsrate sind höhere Werte als bei Kreislaufanlagen anzunehmen, gemäß Schätzung des Auftragsgebers werden 50 % zugrunde gelegt. Zur Vereinfachung der Rechnung wird unterstellt, dass von zwei eingesetzten Tieren nur eins geerntet werden kann und dass andere nach 1,5 Jahren stirbt bzw. getötet wird und damit nur für 1,5 Jahre Futterbedarf hat.

Auch in der Kreislaufanlage ginge der Futterbedarf zurück, da die Tiere nur im ersten Jahr gefüttert werden müssten und dann in Teiche gesetzt werden. Es wären nur etwa 4,2 Tonnen Futter/Jahr notwendig, die Kosten würden sich von über 18.000 € auf 3.360 € reduzieren.

Insgesamt könnten in den Becken der Kreislaufanlage etwa 240.000 Tiere produziert werden. Mit den Reduzierungen beim Futter käme man dann auf etwa 550.000 € Kosten pro Jahr, so dass die Erzeugung einjähriger Krebse etwa 2,30 € pro Stück kosten würde. Sollte eine solche Anlage zusammen mit einer weiteren ähnlichen Anlage betrieben werden, wären weitere substantielle Kosteneinsparungen möglich, insbesondere durch die Teilung der Kosten für das Personal (z.B. für den Betriebsleiter, der alleine fast ein Fünftel der Kosten verursacht).

Vergleicht man diese Kostenpreise mit den Preisen für ein- bzw. zweisömmerige Krebse (1,30 € zu 3,50 €, <http://www.edelkrebszucht.at/preise/>), so lässt sich aufgrund der Wachstumsergebnisse in der Kreislaufanlage begründet annehmen, dass kostendeckende Preise für die einjährigen Tier aus der Kreislaufanlage in Höhe von 2,30 € durchaus erzielbar sein sollten.

Legt man die Besatzdichte von zwei zwei Tieren pro Quadratmeter zugrunde, würde man pro Jahr eine Teichfläche von 120.000 qm benötigen, und damit, da die Tiere drei Jahre auswachsen, 360.000 qm für eine regelmäßige Aufzucht. Diese 36 ha sind angesichts der Größe der Karpfenteiche in Deutschland (nach Angaben z.B. der Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007) in Bayern und Sachsen rund 27.000 ha alleine in Sachsen und Bayern zusammen) vermutlich einfach umsetzbar. Ob hier zusätzliche Anreize in Form von Zuschüssen notwendig wären, lässt sich anhand der wahrscheinlichen Profite abschätzen. Für die Tiere werden Unterschlüpfen benötigt, ähnlich wie in der Kreislaufanlage, oder alte Steine o.ä. Die Kosten sind etwa 0,2 € pro Tier, hinzu kommen die Futterkosten, die pro Tier bei etwa 0,4 € liegen (Bedarf etwa 500 g von Jahr 1 bis Ende 3. Jahr, Futterkosten 0,8 € pro Kilo). Es wird angenommen, dass anfallende Arbeiten durch das vorhandene Personal ausgeführt werden können. Da wir von einer 50 %-igen Mortalität ausgehen, kommen noch etwa 0,15 € für das nicht überlebende Tier an anteiligen Futterkosten und auch die Kosten für den Einkauf der beiden Tiere je qm hinzu. Damit liegen die Gestehungskosten für einen Edelkrebs nach insgesamt 4 Jahren (1 Jahr Kreislaufanlage, 3 Jahre Teich) bei rund 5,55 €, ein Betrag, der sich angesichts der Marktpreise für Teichkrebse von etwa 100 g (schwankend, aber im Schnitt um 7 €) sicherlich dauerhaft erzielen lässt und damit Gewinne verspricht.

### **Zusammenfassende Bewertung des ökonomischen Potentials einer Edelkrebszucht**

Angesichts der hier erfolgten Berechnungen erscheinen die zu erwartenden Erlöse für eine reine Kreislaufaufzucht von *Astacus astacus* nicht kostendeckend. Der zur Deckung der Kosten notwendige Erlös pro Tier liegt bei etwa 20 € und damit rund um den Faktor 2-3 höher als realistische Marktpreise für größerer Mengen. Anders fällt die Bewertung aus, wenn die Kreislaufanlage lediglich für die Aufzucht der Tiere im ersten Jahr genutzt wird und die Krebse anschließend in bestehende Kreislaufanlagen, z.B. für Forellen, oder in Teiche der Karpfenzüchter gesetzt werden. Zwar dauert das Auswachsen dann länger und auch die Sterblichkeiten sind deutlich erhöht, aber trotzdem verspricht dieser Weg, dass sowohl die Kreislaufanlage für die Aufzucht im ersten Jahr und auch das Auswachsen in den Teichen kostendeckend betrieben werden kann und vermutlich für die Teichwirte ein Gewinn erzielbar ist. Dabei sind mögliche Erlössteigerungen durch entsprechende Absatzmaßnahmen für den Genuss des Edelkrebse noch nicht berücksichtigt.

### **Referenzen:**

*Buck, Bela H.; Ebeling, Michael W.; Michler-Cieluch, Tanja (2010): "Mussel Cultivation as a co-use in Offshore Wind Farms: potential and economic feasibility", Aquaculture Economics and Management, Band 14, Heft 4, Seiten 255-281.*

*Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): Karpfenteichwirtschaft: Bewirtschaftung von Karpfenteichen – Gute fachliche Praxis, hrsg. vom Freistaat Sachsen – Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft 2007*

[www.aquacultur.de](http://www.aquacultur.de)

<http://www.edelkrebszucht.at/preise/>

## Anhang

- ✓ Abschlussarbeiten (4)
- ✓ Antrag auf Projektverlängerung und Schreiben zur Bewilligung
- ✓ Bildmaterial
- ✓ Paper (2)
- ✓ Poster (3)
- ✓ Pressemitteilungen und Berichte (21)
- ✓ Zwischenberichte (2)