

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Das Hochschulschrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

**Salinitätstoleranz der Larven- und frühen
Juvenilstadien
der Garnelenart *Macrobrachium amazonicum***

Diplomarbeit vorgelegt von

Marina Antonia Remetin

März 2008



An der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Christian-Albrechts-Universität Kiel
in Zusammenarbeit mit der Biologischen Anstalt Helgoland
des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung

Betreuung in Kiel: Prof. D. Schnack

Betreuung auf Helgoland: Dr. K. Anger

Herrn/Frau Prof. Dr./Priv. Doz. Dr.

Schnack

mit der Bitte um Beurteilung bis zum 01.05.01

und umgehende telefonische Mitteilung von
2 möglichen Zweitgutachtern

**Salinitätstoleranz der Larven- und frühen
Juvenilstadien
der Garnelenart *Macrobrachium amazonicum***

Diplomarbeit vorgelegt von

Marina Antonia Remetin

März 2008

An der Mathematisch Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Christian-Albrechts-Universität Kiel

in Zusammenarbeit mit der Biologischen Anstalt Helgoland

des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung

Betreuung in Kiel: Prof. D. Schnack

Betreuung auf Helgoland: Dr. K. Anger

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	1
Abbildungsverzeichnis.....	3
Tabellenverzeichnis	5
1 Einleitung	7
1.1 Entwicklung von Garnelen	7
1.2 Larvenstadien und Juvenile von <i>Macrobrachium amazonicum</i>	8
1.3 Biologie und Ökologie von <i>Macrobrachium amazonicum</i>	12
1.4 Ökologische Strategien von Crustaceen zur Besiedlung von Süßwasser.....	14
1.5 Auswirkungen der Salinität auf die Entwicklung.....	15
1.6 <i>Macrobrachium amazonicum</i> in der Aquakultur	18
1.7 Zielsetzung der Arbeit	19
2 Material und Methoden	21
2.1 Artemien als Futter	21
2.2 Hälterung der Adulten und eiertragenden Weibchen	21
2.3 Aufzucht der Larven und Juvenilen	22
2.4 Versuche	22
2.4.1 Versuch 1 a: Entwicklung und Mortalität unter dauerhaftem osmotischem Stress (konstante Salinität ab Schlupf).....	22
2.4.2 Versuch 1 b: Bestimmung des Trockengewichtes pro Individuum zur Überprüfung des Wachstums bei verschiedenen Salinitäten.....	23
2.4.3 Versuch 2: Ontogenetische Änderung der Salinitätstoleranz (mit verschiedenen Salinitäten in jedem Larvenstadium).....	24
2.4.4 Versuch 3: Adaption ausgewählter Larvenstadien und Juveniler an Süßwasser (0,16 ‰)	26
2.5 Bilder	27
2.6 Auswertung der Daten	27
2.6.1 Versuch 1 a	27
2.6.1.1 Entwicklungsdauer	27
2.6.1.2 Kumulative Entwicklungsdauer bis ins Stadium Juvenil	28
2.6.1.3 Überlebensraten	28
2.6.1.4 Anteil Juvenile.....	28
2.6.2 Versuch 1 b.....	28
2.6.2.1 Trockengewicht	28
2.6.3 Versuch 2.....	29

2.6.3.1	Entwicklungsdauer	29
2.6.3.2	Überlebensraten	29
2.6.4	Versuch 3	29
2.6.4.1	Entwicklungsdauer	29
2.6.4.2	Überlebensraten	29
3	Ergebnisse	32
3.1	Versuch 1a	32
3.1.1	Entwicklungsdauer	32
3.1.2	Kumulative Entwicklungsdauer	35
3.1.3	Überlebensraten	35
3.1.4	Anteile Juvenile	36
3.2	Versuch 1b	37
3.2.1	Trockengewicht	37
3.3	Versuch 2	38
3.3.1	Entwicklungsdauer	38
3.3.2	Überlebensraten	41
3.4	Versuch 3	42
3.4.1	Entwicklungsdauer	42
3.4.2	Überlebensraten	43
4	Diskussion	47
4.1	Entwicklungsdauer	47
4.2	Kumulative Entwicklungsdauer bis zum Juvenile	49
4.3	Anteil Juvenile	49
4.4	Trockengewicht pro Individuum	50
4.5	Überlebensraten	51
4.6	Ausblick	53
5	Zusammenfassung	54
6	Literaturverzeichnis	56
Anhang		62
I	Tabellen zur Statistik	62
II	Abbildungen zur Statistik	67
III	Rohdaten	75

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Larvenstadium 1 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Augen.	8
Abbildung 1.2: Larvenstadium 2 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Augen und Telson.....	8
Abbildung 1.3: Larvenstadium 3 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Telson.	9
Abbildung 1.4: Larvenstadium 4 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Telson und Pleon.	9
Abbildung 1.5: Larvenstadium 5 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Pleon.	10
Abbildung 1.6: Larvenstadium 6 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Pleon.	10
Abbildung 1.7: Larvenstadium 7 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Pleon und Antennen.....	10
Abbildung 1.8: Larvenstadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Antennen.....	11
Abbildung 1.9: Larvenstadium 9 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Peraeopoden und Rostrum.	11
Abbildung 1.10: Juvenil von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und Detailansicht Peraeopoden und Rostrum.	12
Abbildung 1.11: Adultes Tier von <i>Macrobrachium amazonicum</i>	14
Abbildung 3.1: Entwicklungsdauer der einzelnen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	34
Abbildung 3.2: Kumulative Entwicklungsdauer bis Juvenil von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	35
Abbildung 3.3: Überlebensraten der einzelnen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	36
Abbildung 3.4: Anteil der Juvenilen in den einzelnen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	37
Abbildung 3.5: Trockengewichte pro Individuum in den Stadien 1, 3, 6 und 9 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ ab dem Schlupf.	38
Abbildung 3.6: Entwicklungsdauer der einzelnen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	41
Abbildung 3.7: Überlebensraten der einzelnen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	42
Abbildung 3.8: Entwicklungsdauer der Larven im Stadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Adaption an Süßwasser.....	43
Abbildung 3.9: Entwicklungsdauer der Juvenilen von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Adaption an Süßwasser.....	43
Abbildung 3.10: Überlebensraten in den Stadien 3, 6, 8 und Juvenil von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.	44
Abbildung 3.11: Mortalität im Stadium 3 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> . Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.	45
Abbildung 3.12: Mortalität im Stadium 6 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> . Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.	45

Abbildung 3.13: Mortalität im Stadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> . Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.	46
Abbildung II.1: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 1 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	67
Abbildung II.2: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 2 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	68
Abbildung II.3: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 3 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	68
Abbildung II.4: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 4 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	69
Abbildung II.5: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 5 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	69
Abbildung II.6: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	70
Abbildung II.7: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 9 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	70
Abbildung II.8: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 10 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.	71
Abbildung II.9: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 3 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	71
Abbildung II.10: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 4 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	72
Abbildung II.11: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 5 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	72
Abbildung II.12: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 6 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	73
Abbildung II.13: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 7 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	73
Abbildung II.14: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.	74
Abbildung II.15: Korrelation von kumulativer Entwicklungsdauer bis Juvenil bei <i>Macrobrachium amazonicum</i> mit dem Betrag der Abweichung der untersuchten Salinität von der Salinität 15 %.	74

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Daten des Schlupfes für die jeweiligen Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> , die in die Bedingungen im Versuch 2 eingesetzt wurden.....	25
Tabelle 2.2: Verwendete Testverfahren für die untersuchten Kriterien in den Versuchen mit Hypothesen und untersuchten Variablen.....	30
Tabelle 3.1: Höchster und niedrigster Mittelwert der Entwicklungsdauer [Tage] der untersuchten Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und zugehörige Salinität.....	34
Tabelle 3.2: Höchster und niedrigster Mittelwert der Entwicklungsdauer [Tage] der untersuchten Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> und zugehöriger Salinität.....	40
Tabelle I.1: Ergebnis der ANOVA für Entwicklungsdauer der Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.....	62
Tabelle I.2: Ergebnis des Spearman-Tests auf Korrelation der kumulativen Entwicklungsdauer bis Juvenil mit dem Betrag der Abweichung der untersuchten Salinität von der Salinität 15 ‰.....	63
Tabelle I.3: Ergebnis des χ^2 -Homogenitätstests der Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> in jedem Stadium bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.....	63
Tabelle I.4: Ergebnis des χ^2 -Homogenitätstests der Aufspaltung in Juvenile und nicht juvenile Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> in einem Stadium bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.....	64
Tabelle I.5: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests der Trockengewichte pro Individuum bei ausgewählten Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.....	64
Tabelle I.6: Ergebnis der ANOVA für Entwicklungsdauer der Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium (a).....	65
Tabelle I.7: Ergebnis des χ^2 -Homogenitätstests der Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> in jedem Stadium bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.....	66
Tabelle I.8: Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests für die Entwicklungsdauer der Juvenilen von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.....	66
Tabelle I.9: Ergebnis des Mann-Whitney-U-Tests für die Entwicklungsdauer im Stadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.....	66
Tabelle I.10: Ergebnis des Binomialtests der Überlebensraten ausgewählter Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten (b).....	66
Tabelle III.1: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Süßwasser ab dem Schlupf.....	75
Tabelle III.2: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 1 ‰ ab dem Schlupf.....	76
Tabelle III.3: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 5 ‰ ab dem Schlupf.....	77
Tabelle III.4: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 10 ‰ ab dem Schlupf.....	79

Tabelle III.5: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 15 ‰ ab dem Schlupf.....	80
Tabelle III.6: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 20 ‰ ab dem Schlupf.....	81
Tabelle III.7: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 25 ‰ ab dem Schlupf.....	83
Tabelle III.8: Stadien der Larven von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei Salinität 32 ‰ ab dem Schlupf.....	84
Tabelle III.9: Trockengewichte (TG) ausgewählter Larvenstadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei den Salinitäten 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ ab dem Schlupf.	86
Tabelle III.10: Larvenstadium 1 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	88
Tabelle III.11: Larvenstadium 2 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	89
Tabelle III.12: Larvenstadium 3 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	90
Tabelle III.13: Larvenstadium 4 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	91
Tabelle III.14: Larvenstadium 5 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	92
Tabelle III.15: Larvenstadium 6 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	93
Tabelle III.16: Larvenstadium 7 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	94
Tabelle III.17: Larvenstadium 8 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	96
Tabelle III.18: Larvenstadium 9 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	98
Tabelle III.19: Stadium Juvenil 1 von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei verschiedenen Salinitäten.....	100
Tabelle III.20: Ausgewählte Stadien von <i>Macrobrachium amazonicum</i> bei der Adaption an Süßwasser in verschiedenen Geschwindigkeiten.....	101

1 Einleitung

1.1 Entwicklung von Garnelen

Unter den benthischen Crustaceen sind bei den Dekapoden erhebliche ontogenetische Veränderungen in der Ökologie, der Ernährungsweise, dem Verhalten und der funktionellen Morphologie festzustellen (ANGER, 2006). Die meisten Dekapoden durchlaufen in ihrer Entwicklung als Larven eine planktische Phase und als Juvenile und Adulte eine benthische Phase (ANGER, 2001). Die Entwicklung bis zum Juvenilen verläuft über eine Embryonalphase und eine Phase mit unterschiedlich vielen Larvenstadien mit anschließender Metamorphose.

Für die hier untersuchten Carideen sind vor allem eine morphologisch graduelle Veränderung, eine intraspezifische Variabilität in der Anzahl der Larvenstadien, die der Anzahl der Häutungen in der Larvenphase entsprechen, sowie in den morphologischen Ausprägungen der einzelnen Larvenstadien typisch (ANGER, 2001; ANGER, 2006). Diese Variabilität der Morphologie eines numerischen Stadiums tritt innerhalb von Bruten unter identischen Bedingungen, Individuen und Bedingungen der Aufzucht auf (ANGER, 2001). Die numerischen Stadien sind durch die Anzahl der vorausgegangenen Häutungen definiert.

In dieser Arbeit wurde die Entwicklung von *Macrobrachium amazonicum* untersucht. Die Entwicklung von *M. amazonicum* zum benthischen Adulttier erfolgt über pelagische Larvenformen und benthische Juvenile. Nach der Embryonalphase im Ei, das am Pleon des Muttertiers befestigt ist, schlüpft die Larve im 1. Zoeastadium und durchläuft etwa fünf weitere pelagische Zoeastadien. Die Zoea schwimmt mit den Exopoditen der Peraeopoden. Die Anhänge am Cephalon (Antennen, Mandibeln) dienen der Nahrungsfindung und -aufnahme. Die Anhänge des Pleons fehlen noch oder sind rudimentär und nicht funktionsfähig (ANGER, 2006). Auf diese Stadien folgen in der Regel drei Stadien als pelagische Dekapodite mit anschließender Metamorphose zum benthischen Juvenilen. Charakteristisch für den Dekapoditen sind funktionsfähige Anhänge des Pleons, die Pleopoden. Diese dienen gemeinsam mit den Exopoditen der Peraeopoden der schwimmenden Fortbewegung (ANGER, 2006). Im Gegensatz zu den Larvenformen bewegen sich die Juvenilen hauptsächlich schreitend fort, dazu nutzen sie die Endopodi-

ten der Peraeopoden; die Exopoditen der Peraeopoden sind vollständig rückgebildet (ANGER, 2006).

Für diese Arbeit wurden die Larven in numerische Stadien eingeteilt, die sich aus Häutungsvorgängen ergeben. Deshalb wird die Terminologie, der Begriffe wie Zoea und Dekapodit zugrunde liegen, durch Stadiennummern ersetzt. Zudem wurden vor allem frühe Stadien optisch nach morphologischen Merkmalen unterschieden. Als Juvenil wurden Stadien definiert, die die Exopoditen der Peraeopoden verloren haben.

1.2 Larvenstadien und Juvenile von *Macrobrachium amazonicum*

Charakteristisch für das Stadium 1 (Zoea I) sind die sessilen Augen (Abb. 1.1). Das Stadium 1 hat eine durchschnittliche Totallänge von 2,39 mm. Die Angaben zur Totallänge wurden aus der Arbeit von VEGA PEREZ (1984) entnommen.

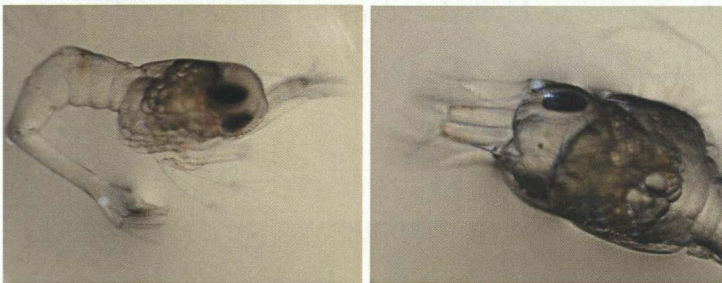


Abbildung 1.1: Larvenstadium 1 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Augen.

Im Stadium 2 (Zoea II) haben die Larven gestielte Augen und, wie in Stadium 1, ein Telson ohne Uropoden (Abb. 1.2). Das Stadium 2 hat eine durchschnittliche Totallänge von 2,92 mm.



Abbildung 1.2: Larvenstadium 2 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Augen und Telson.

Ab dem Stadium 3 (Zoea III) trägt das Telson Uropoden, wobei nur deren Exopoditen vollständig ausgebildet und beborstet sind, während die Endopoditen nur als unbeborstete und ungegliederte Anlagen zu erkennen sind (Abb. 1.3). Das Stadium 3 hat eine durchschnittliche Totallänge von 3,28 mm.



Abbildung 1.3: Larvenstadium 3 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Telson.

Im Stadium 4 (Zoea IV) sind die Endopoditen der Uropoden voll ausgebildet, die Pleopoden fehlen noch. Bei manchen Individuen sind die Anlagen der Pleopoden als kleine Beulen zu erkennen (Abb. 1.4). Das Stadium 4 hat eine durchschnittliche Totallänge von 3,84 mm.

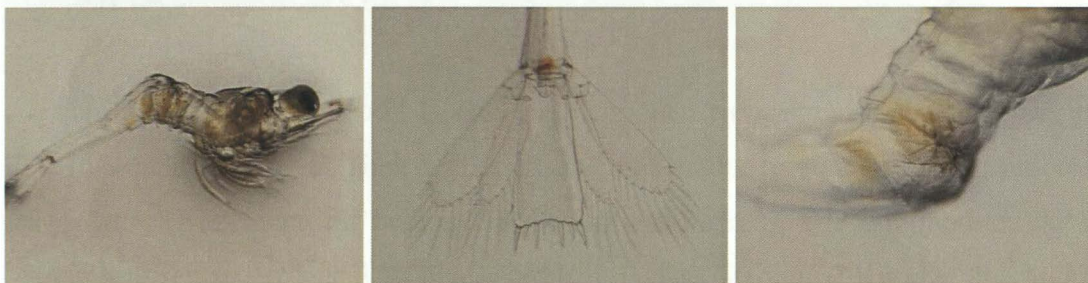


Abbildung 1.4: Larvenstadium 4 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Telson und Pleon.

Ab dem Stadium 5 (Zoea V) beginnen sich die Pleopoden zu bilden. Sie erscheinen als deutlich ausgeprägte, aber noch einästige und ungegliederte Knospen (Abb. 1.5). Das Stadium 5 hat eine durchschnittliche Totallänge von 4,89 mm.



Abbildung 1.5: Larvenstadium 5 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Pleon.

Im Stadium 6 (Zoea VI) sind die Pleopoden weiter ausgebildet und bereits zweiästig, das heißt, in Exopodit und Endopodit gespalten (Abb. 1.6). Das Stadium 6 hat eine durchschnittliche Totallänge von 5,15 mm.

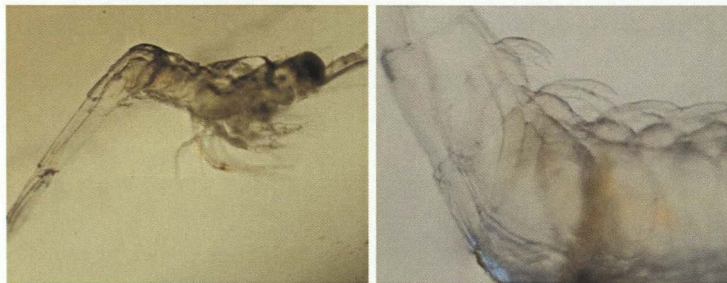


Abbildung 1.6: Larvenstadium 6 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Pleon.

Ab dem Stadium 7 (Dekapodit I) sind die Pleopoden weitgehend vollständig ausgebildet, Exo- und Endopodit sind gegliedert und mit ersten terminalen Schwimmborsten ausgestattet (Anzeichen für beginnende Funktionsfähigkeit). Die Endopoditen der Antennen besitzen in der Regel 5 Glieder (Abb. 1.7). Das Stadium 7 hat eine durchschnittliche Totallänge von 6,02 mm.



Abbildung 1.7: Larvenstadium 7 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Pleon und Antennen.

Im Stadium 8 (Dekapodit II) besitzen die Endopoditen der Antenne 7-9 Segmente (Abb. 1.8). Das Stadium 8 hat eine durchschnittliche Totallänge von 6,61 mm.

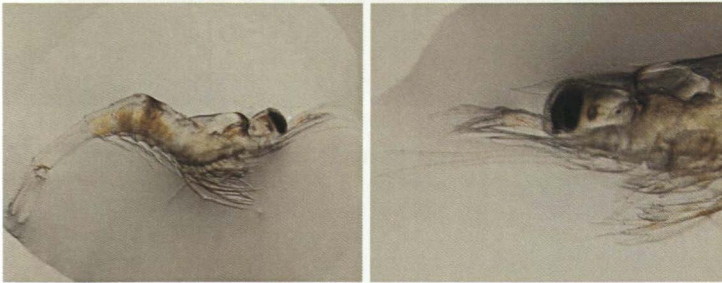


Abbildung 1.8: Larvenstadium 8 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Antennen.

Ab dem Stadium 9 (Dekapodit III) besitzen die Endopoditen der Antenne 11-19 Segmente und das Rostrum ist dorsal gezähnt (Abb. 1.9). Das Stadium 9 hat eine durchschnittliche Totallänge von 7,05 mm.



Abbildung 1.9: Larvenstadium 9 von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Peraeopoden und Rostrum.

Im Juvenilstadium ist das Rostrum dorsal und ventral gezähnt und die Endopoditen der Antenne sind vielgliedrig. Die Exopoditen der Peraeopoden sind nicht mehr, oder nur noch rudimentär, vorhanden (Abb. 1.10). Die Fortbewegung erfolgt nicht länger schwimmend mittels Pleopoden und Exopoditen der Peraeopoden sondern schreitend mittels Peraeopoden, um so den Übergang zur benthischen Lebensweise zu ermöglichen. Das Stadium Juvenil 1 hat eine durchschnittliche Totallänge von 7,67 mm.

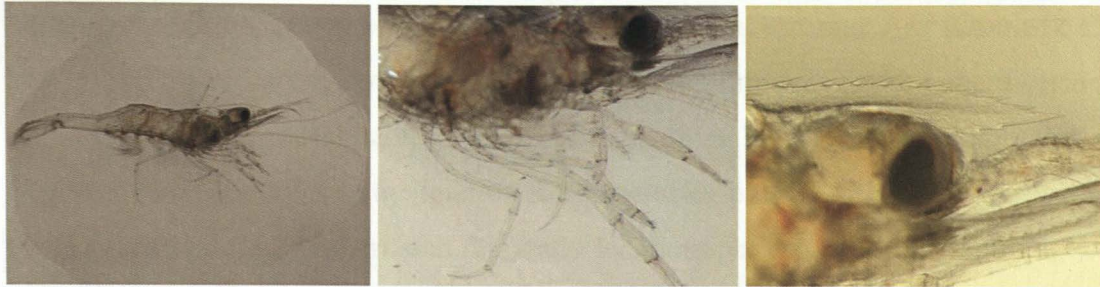


Abbildung 1.10: Juvenil von *Macrobrachium amazonicum* und Detailansicht Pereopoden und Rostrum.

1.3 Biologie und Ökologie von *Macrobrachium amazonicum*

Die untersuchte Art *M. amazonicum* ist systematisch (nach WESTHEIDE und RIEGER, 1996) wie folgt einzuordnen:

Stamm Arthropoda

Klasse Crustacea

Unterklasse Malacostraca

Ordnung Decapoda

Unterordnung Pleocyemata

Infraordnung Caridea

Überfamilie Palaemonoidea

Familie Palaemonidae

Gattung *Macrobrachium*

Art *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862)

Die Gattung *Macrobrachium* umfasst weltweit mehr als 200 beschriebene Arten und ist somit eine der diversesten und am weitesten verbreiteten Gattungen unter den Crustaceen, die in tropischen und subtropischen Gebieten vorkommen (SANTOS et al, 2007). *Macrobrachium amazonicum* (Abb. 1.11) ist weit verbreitet in den Ästuarien und inneren Flussgebieten von Venezuela bis Argentinien (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007). Das Verbreitungsgebiet schließt das Delta des Orinoko und des Amazonas sowie Flüsse Paraguays ein (ODINETZ COLLART, 1991). Die adulten Garnelen sind Besiedler des Süßwassers. Die erfolgreiche Besiedlung eines weiten geographischen Verbreitungsgebietes in Südamerika durch *M. amazonicum* verdankt diese Art dem hohen Grad an schneller Anpassungsfähigkeit an verschiedene Bedingungen (ODINETZ COLLART, 1991). Adulte *M. amazonicum* ernähren sich omnivor, vor allem beinhaltet die genutzte

Nahrung: Insekten, pflanzliches Gewebe, kleine Crustaceen und Aas (ODINETZ COLLART, 1991). Die Larven ernähren sich, bedingt durch ihre pelagische Lebensweise und der Nutzung anderer Habitats, anders. Larvenstadium 1 ist lecithotroph, ernährt sich also von vom Muttertier mitgelieferten Reservestoffen und ist somit nahrungsunabhängig. Larvenstadium 2 ernährt sich fakultativ lecithotroph, das heißt planktotroph, wenn Nahrung vorhanden ist. Larvenstadium 3 ist zooplanktotroph und die Larvenstadien 4 bis 9 sind omnivor (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007). Wenn bei der Aufzucht ab Larvenstadium 2 gefüttert wird, hat dies keinen Einfluss auf die Entwicklung der Larven. Hingegen kann eine Fütterung ab Stadium 3 einen Einfluss auf die Entwicklung haben, wenn die Menge mitgebrachter Reservestoffe für die Ernährung im Stadium 2 schlecht oder nicht ausreichend war (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007).

M. amazonicum erlangt im Durchschnitt eine Länge von 16 cm und ein Gewicht von 30 g (MORAES-RIODADES und VALENTI, 2004). Im Labor gehältert, erreichen adulte *M. amazonicum* eine maximale Länge von 10 cm (GUEST, 1979). Die Weibchen erreichen die Geschlechtsreife in der Natur (ODINETZ COLLART, 1991) sowie im Labor (GUEST, 1979) nach 6 Monaten. An den Pleopoden frei lebender *M. amazonicum* Weibchen wurden zwischen etwa 700 und etwa 1.600 Eier beobachtet (DA SILVA et al, 2004). Die eiertragenden Weibchen sind in der Natur über das gesamte Jahr zu finden, mit Höhepunkten abhängig von Lokalität und hydrographischen Bedingungen (ODINETZ COLLART, 1991). Eine Untersuchung zeigte, dass die Larvenstadien der Süßwassergarnelen der Gattung *Macrobrachium* für ihre Entwicklung häufig Salzwasser benötigen (MCNAMARA et al, 1986). Eine Population von *M. amazonicum* lebt beispielsweise im Orinoko-Delta (Venezuela), deren Verbreitungsgebiet unabhängig von der Entfernung zum Meer ist (MONTROYA, 2003). Diese Population von *M. amazonicum* besiedelt Gebiete etwa 1000 km vom Meer entfernt und verbringt ihren gesamten Lebenszyklus im Süßwasser. Dasselbe gilt für die von Magalhães (1985) im Amazonas (Brasilien) untersuchte Population. Eine andere Population besiedelt jedoch auch den Maracaibo-See (Venezuela), wo Salzgehalte von 1 ‰ bis 36 ‰ auftreten. Die Entwicklung der Larven dieser Population ist abhängig von Salzwasser (ZANDER und RODRIGUEZ, 1992).



Abbildung 1.11: Adultes Tier von *Macrobrachium amazonicum*.

1.4 Ökologische Strategien von Crustaceen zur Besiedlung von Süßwasser

Alle Crustaceen stammen letztlich von marinen Vorfahren ab. Die meisten limnischen und terrestrischen Arten sind nur als Juvenile und Adulte an die nicht marinen Bedingungen angepasst. Ihre Larvenphase ist entweder völlig unterdrückt, oder die Larven sind gezwungen, das Gebiet der Adulten zu verlassen, um sich in Küstengewässern oder Ästuarien zu entwickeln. Deshalb verfolgen viele limnische und terrestrische Dekapoden weltweit eine „Exportstrategie“ (STRATHMANN, 1982), die besagt, dass ihre frühen Lebensstadien sich in Küstengewässern außerhalb des Habitats der Adulten, entwickeln. Dies impliziert, dass diese Arten von einem Transport der frühen pelagischen Larven in Richtung Meer und einer Rückkehr der späten Larvenstadien oder Juvenilen, abhängen. Daraus resultiert eine Abhängigkeit dieser Arten von einer offenen Verbindung mit dem Meer (ANGER und SCHUBART, 2005). Der ontogenetische Zeitpunkt der Rückkehr in limnische Gebiete kann entweder durch Felduntersuchungen zur Larvenverteilung oder durch Untersuchungen der Salinitätstoleranz der späten Larvenstadien oder Juvenilen im Labor festgestellt werden (ANGER et al, 2006). Letzteres wurde in dieser Arbeit untersucht. Die Fähigkeit der Garnelen, Süßwasser zu besiedeln, hängt von der Kapazität der Hyperregulation ab. Dies bedeutet, die interne Ionenkonzentration so zu regeln, dass sie über der externen Konzentration liegt (SANTOS et al, 2007). Die Besiedlung von Süßwasser durch Vorfahren der Gattung *Macrobrachium* könnte durch Selektion hin zu effizienteren Ionenaufnahmeprozessen vorangetrieben worden sein, zusammen mit einer Selektion zur Reduzierung der Permeabilität des Integuments und der Kiemen (FREIRE et al, 2003). Es wurden auch Trends im osmoregulatorischen Verhalten von evolutionär verwandten, jedoch ökologisch differenzierten Arten untersucht, um den Grad der physiologischen Anpassung an Süßwasser zu bestimmen (FREIRE, et al, 2003).

Eine Untersuchung zeigte, dass die Empfindlichkeit gegenüber variablen Umweltparametern bei Larven von *M. amazonicum* höher zu sein scheint als bei Adulten, was darauf hinweist, dass sich *M. amazonicum* noch in einem Übergangszustand vom marinen ins limnische Habitat befindet. *M. amazonicum* ist demnach evolutionär gesehen ein junger Besiedler des Süßwassers (ZANDER und RODRIGUEZ, 1992).

1.5 Auswirkungen der Salinität auf die Entwicklung

Crustaceen mit hoher Variabilität in ihrer Entwicklung, wie es bei den Carideen der Fall ist, neigen bei suboptimalen ökologischen Bedingungen dazu, die Anzahl der Larvenstadien zu erhöhen und die durchschnittlichen morphologischen Veränderungen sowie das Wachstum bei jeder Häutung zu reduziert (ANGER, 2001). Es ist bekannt, dass die Salinität einen hohen Einfluss auf die Überlebensrate und Entwicklungsdauer von Dekapodenlarven hat, wobei die Temperatur einen geringen Einfluss auf die Überlebensrate, aber einen starken Einfluss auf die Dauer der Häutungszyklen hat (ANGER, 2001). Salinität beschreibt die Menge gelöster Salze (in Gramm pro Kilogramm Wasser). Für Arten, die in Gebieten mit variablen physikalischen Bedingungen oder variablem Nahrungsangeboten leben, beispielsweise in Ästuarien, können variable Entwicklungsmuster verbesserte Anpassungsmöglichkeiten liefern. Wenn temporär oder lokal optimale Bedingungen vorherrschen, kann eine kurze Entwicklungsdauer zur schnelleren Metamorphose und Rekrutierung führen. Eine durch Stress induzierte Verzögerung der Metamorphose ermöglicht dagegen einen weiteren Larventransport, welcher die Chance erhöht, günstigere Bedingungen für die Rekrutierung, das folgende Juvenilwachstum und das Erreichen der Geschlechtsreife vorzufinden (ANGER, 2006).

Die Dauer der Larvenentwicklung im Plankton sowie die ökophysiologischen Merkmale (z. B. Toleranzbereich in der Temperatur, im Salzgehalt oder des Nahrungsangebotes) einer Art sind bestimmend für den Grad ihrer biogeographischen Verbreitung und Stellung in der Ökologie (ANGER, 2006).

Im Brackwasser und Süßwasser herrschen nicht nur andere Mengen an gelösten Salzen sondern auch das Verhältnis der Ionen zueinander unterscheidet sich. Wenn die Gesamtkonzentration an gelösten Salzen gering ist (<5 ‰), verändert sich die Ionenzusammensetzung zu größeren Anteilen Ca^{2+} und K^+ sowie zu kleineren Anteilen an Na^+ (KINNE, 1971). Die meisten physiologischen Prozesse und besonders metabolische Prozesse fordern eine stabile osmotische und ionische Umgebung, daher wird die Salinität

als ökologischer Schlüsselfaktor in Küstenzonen und Ästuarien angesehen (ANGER, 2003). Osmotischer Stress tritt auf, wenn die Salinität außerhalb artspezifischer oder entwicklungsstadienspezifischer Toleranzbereiche liegt (ANGER, 2003). In Crustaceen wurden Effekte von osmotischem Stress als verlängerte Entwicklungsdauer, niedrigere Überlebensrate, Nahrungsaufnahmerate und Wachstumsrate sowie verlängerte oder verkürzte Häutungszyklen, metabolische Verschiebungen in der Energieverwertung und Änderung im Verhalten beobachtet (ANGER, 2003).

In Experimenten mit Dekapodenlarven werden oft Grenzwerte des Toleranzbereiches ermittelt. Diese Grenzwerte werden in der Regel identifiziert als Bedingungen, die erhöhte Mortalität und verlängerte Entwicklungsdauer verursachen (ANGER, 2003). Um die Gebiete außerhalb des Toleranzbereiches für die Salinität besiedeln zu können, bedarf es der Osmoregulation. Osmoregulation ist die genetisch programmierte Fähigkeit einer Art oder eines ontogenetischen Stadiums, die durch Umwelteinflüsse verstärkt oder geschwächt werden kann und es ermöglicht, Habitate mit hoher, niedriger oder variabler Salinität zu besiedeln (CHARMANTIER und CHARMANTIER-DAURES, 2001). Im letzteren Fall ist ein weiter Toleranzbereich der Salinität erforderlich für das Überleben. Invertebraten deren Toleranzbereich eine Spanne von 10 ‰ bis 30 ‰ aufweist werden als euryhalin bezeichnet, während Arten, deren Toleranzbereich mit einer Spanne von bis zu 10 ‰ als stenohalin bezeichnet werden (KINNE, 1971). Demnach werden Arten, die effizient Osmoregulation betreiben können, zu den euryhalinen Arten gezählt (CHARMANTIER und CHARMANTIER-DAURES, 2001).

Macrobrachium amazonicum Larven sind euryhalin und haben einen breiten Toleranzbereich für die Salinität (ANGER, 2003). Die Osmoregulation beruht auf der Regulierung aktiver Ionentransportprozesse durch Enzyme und passiver Ionendiffusionsprozesse an permeablen Oberflächen. Wie bei Adulten basiert die Osmoregulation auch bei Larvenstadien auf effizienter Regulation der Ionen (hauptsächlich Na^+ und Cl^-) sowie auf einem erhöhten Niveau und / oder der Anwesenheit von Enzymen für den Transport von Ionen (hauptsächlich Na^+/K^+ -ATPase) (CHARMANTIER und CHARMANTIER-DAURES, 2001). Die Na^+/K^+ -ATPase ist ein ionentransportierendes Enzym in der Plasmamembran, das pro gespaltenem Molekül ATP drei Na^+ Ionen aus dem Zytoplasma exportiert und zwei K^+ Ionen aus der extrazellulären Flüssigkeit importiert (MENDONCA et al, 2007). Die Fähigkeit zur Osmoregulation beruht höchstwahrscheinlich auf der Menge an Boten-Ribonucleinsäure (mRNS), die bei der Proteinbiosynthese als Vorlage für die Na^+/K^+ -ATPase dient (SANTOS et al, 2007; TORRES et al, 2007). Epithelien mit os-

moregulatorischer Funktion können zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Entwicklung und in verschiedenen Geweben, meist in Organen der Atmungskammern, auftreten (CHARMANTIER und CHARMANTIER-DAURES, 2001). In einigen Crustaceen verläuft die Enzymaktivität der Na^+/K^+ -ATPase parallel zu den ontogenetischen Veränderungen der Fähigkeit zur Osmoregulation (MASUI et al, 2007).

Zum Verständnis der Wirkung der Salinität auf die Entwicklung von Dekapodenlarven wurden diverse Untersuchungen durchgeführt. Experimente mit Arten der Gattung *Armas*, die sich mit einer möglichen Abhängigkeit des Larvenwachstums von der Salinität beschäftigten, zeigen, dass die Effekte der Salinität auf die Larvenbiomasse nicht nur zwischen Arten, sondern auch zwischen ontogenetischen Stadien variieren. Diese Unterschiede scheinen mit der unterschiedlichen Kapazität der Osmoregulation und ökologischen Merkmalen der Art und des Larvenstadiums in Zusammenhang zu stehen (TORRES et al, 2007). Experimente mit Larven und Juvenilen von *Charybdis feriatus* zeigen, dass sowohl die Salinität als auch die Temperatur statistisch signifikante Effekte auf das Überleben, das Entwicklungsmuster und die Dauer der Häutungszyklen haben (BAYLON und SUZUKI, 2007).

Vor allem in Bezug auf die Aquakultur und auch zum grundlegenden Verständnis der Ökologie von *Macrobrachium amazonicum* wurden Untersuchungen unternommen. In einer wurde die Wirkung verschiedener Salinitäten auf das Überleben, die Dauer der Häutungszyklen und den respiratorischen Metabolismus im ersten Larvenstadium von *M. amazonicum* untersucht (MCNAMARA et al, 1983). Eine andere zeigt, dass die Metamorphose im Labor bei 24 °C und einer Salinität von 10 ‰ nach acht oder neun Stadien, nach 23 bis 26 Tagen einsetzt (GUEST, 1979). In einer anderen Untersuchung wurde die Metamorphose im Labor bei 27,6 °C nach zehn oder elf Larvenstadien nach 28 bis 33 Tagen beobachtet (MAGALHÃES, 1985). Experimente zeigten, dass bei Larven (Stadium 1 und Stadium 2) und Adulten von *M. amazonicum* die Temperatur den Sauerstoffverbrauch nur geringfügig beeinflusst, während die Salinität einen entscheidenden Einfluss auf den Sauerstoffverbrauch der Larven aber nicht der Adulten hat (ZANDER und RODRIGUEZ, 1992). Andere Untersuchungen befassten sich mit einem möglichen Effekt der Salinität auf die respiratorische Metabolismusraten in den ersten Larvenstadien von *Macrobrachium acanthurus*, *M. carcinus*, *M. olfersii*, *M. heterochirus* und *Palaemon northropi* (MOREIRA et al, 1982).

Adulte *M. amazonicum* hyperregulieren im Süßwasser ihre Hämolymphe stark und befinden sich bei 25 ‰ in annähernd isoosmotischem Milieu (FALEIROS und MCNAMARA, 2007). Die dort beobachteten Gradienten zwischen Hämolymphe und Süßwasser resultieren aus den kompensierenden Ionentransportprozessen, die im hoch spezialisierten Kiemenepithel stattfinden (FALEIROS und MCNAMARA, 2007). In den Larvenstadien von *M. amazonicum* liegt der isoosmotische Punkt bei 16 ‰ (CHARMANTIER und ANGER, mündl. Mitteilung). Ein Experiment untersuchte die Osmoregulation und den respiratorischen Metabolismus von *Macrobrachium acanthurus*, *M. potiuna*, *M. olfersii*, *M. heterochirus* (MOREIRA et al, 1983). Ein anderes untersucht die Na^+/K^+ -ATPase der Kiemen, des zweiten Juvenilstadiums von *M. amazonicum* (MASUI et al, 2007). Untersuchungen zur Osmoregulation durch die Na^+/K^+ -ATPase Aktivität wurden auch in den Kiemen von *M. amazonicum* (PROVERBIO et al, 1990) und *M. olfersii* (MENDONCA et al, 2007) durchgeführt.

1.6 *Macrobrachium amazonicum* in der Aquakultur

Für kommerziell genutzte Crustaceen, wie die Palaemonideen, sind grundlegende Informationen bezüglich der Biologie der Larven sehr wichtig für die Entwicklung wirtschaftlicher Aquakulturtechniken und erhaltender Strategien im Fischereimanagement (ANGER, 2006). Bevor intensive und wirtschaftlich erfolgreiche Kultivierung dieser Dekapoden unternommen werden kann, ist es demnach notwendig, die physiologischen Ansprüche der Organismen zu untersuchen (MOREIRA et al, 1983).

Die Süßwassergarnelen, die bisher in der kommerziellen und experimentellen Aquakultur eingesetzt wurden, gehören alle der Gattung *Macrobrachium* an (NEW und VALENTI, 2000). In Brasilien wird zu kommerziellen Zwecken derzeit vor allem *M. rosenbergii* in Aquakulturen gehalten. Obwohl es keinen Beweis für negative ökologische Einflüsse dieser in Brasilien exotischen Art gibt, bestehen Vorteile in der Nutzung heimischer Arten sowohl in genetischer wie auch in ökologischer Hinsicht. Zudem fördert es die Wirtschaftlichkeit und lokale Akzeptanz der Aquakultur von Süßwassergarnelen (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007). Hierfür werden Studien der heimischen Arten benötigt, um ihren kommerziellen Wert zu ermitteln und relevante Zuchtmethoden zu entwickeln (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007).

Von den in Brasilien heimischen Arten wird derzeit *Macrobrachium amazonicum* wegen seines schnellen Wachstums und der leichten Handhabung in Gefangenschaft für die Aquakultur bevorzugt (DA SILVA et al, 2004). Es hat sich gezeigt, dass Individuen der salzwasserabhängigen Rasse für die Aquakultur bevorzugt werden, da diese insgesamt größer werden (NEW und VALENTI, 2000). Ergebnisse aus der experimentellen Aquakultur für *M. amazonicum* in Brasilien zeigen eine durchschnittliche Larvenphase von 20 Tagen, hohe Überlebensraten, schnelles Wachstum, schnelle Entwicklung in Zuchtanlagen, niedrige Anfälligkeit für Krankheiten (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007) sowie schnelles Erreichen der Geschlechtsreife (GUEST, 1979).

1.7 Zielsetzung der Arbeit

Um die Ökologie von *Macrobrachium amazonicum* zu verstehen, ist es notwendig, die Entwicklung zu untersuchen. Um differenzierte Effekte von Umweltparametern auf die Entwicklung festzustellen, werden experimentelle Daten benötigt.

In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Salinität auf Larvenstadien und Juvenile der Art *Macrobrachium amazonicum* anhand der Kriterien Entwicklungsdauer und Überlebensrate untersucht. Dies soll zum einen dem Gesamtbild der Artenökologie dienen, und zum anderen die Ansprüche der Art untersuchen. Für die Aquakultur sind Informationen zu den Bedürfnissen der verschiedenen ontogenetischen Stadien von essentieller Bedeutung.

Die hier untersuchten Individuen der Art *Macrobrachium amazonicum* stammen aus der Umgebung der Stadt Belém im Bundesstaat Pará im Norden Brasiliens. Die Tiere stammen aus dem Fluss Rio Paricatuba (einem riesigen Gezeiten-Priel im Amazonas-Delta), nahe der Gemeinde Santa Bárbara. Die Garnelen wurden im Februar 2006 lebend nach Helgoland gebracht. Ihr natürliches Verbreitungsgebiet umfasst Flussabschnitte des Amazonas nahe seiner Mündung ins Meer. Demnach gehören die hier untersuchten *M. amazonicum* zu einer salzwasserabhängigen Population. Es wird vermutet, dass sich die Weibchen vor dem Schlupf der Larven auf eine Wanderung Richtung Meer in Brackwassergebiete begeben.

Untersuchungsgegenstand waren die Effekte bei konstantem osmotischem Stress ab dem Schlupf (Versuch 1a). Es wurde betrachtet, ob die Stadiendauer, die Überlebensrate und der Anteil Juvenile in einem Stadium bei acht verschiedenen Salinitäten variieren. Die kumulative Entwicklungsdauer bis ins Juvenilstadium in Abhängigkeit von der

Salinität wurde untersucht. Veränderte Wachstumsraten durch veränderte Akkumulation von Energie und organischem Material bei verschiedenen Salinitäten können anzeigen, dass die Nahrungsaufnahme und / oder Umsetzung der Nahrung durch ökologische Faktoren beeinflusst wird (ANGER, 2003). Wachstum kann generell gemessen werden als Größen- oder Gewichtszunahme innerhalb einer bestimmten Zeitspanne oder als die Dauer, die ein Individuum benötigt, um eine bestimmte Größe oder ein bestimmtes Stadium zu erreichen (ANGER, 1998). Die Untersuchung wurde wiederholt, um die Trockengewichte pro Individuum bei ausgewählten Stadien und ausgewählten Salinitäten zu vergleichen (Versuch 1b).

Zudem wurden mögliche Effekte bei osmotischem Stress in jedem Larvenstadium untersucht (Versuch 2). Auch hier wurden die Stadiendauer und die Überlebensrate in den jeweiligen Stadien bei acht verschiedenen Salinitäten untersucht.

Um die Exportstrategie der Larven zu untersuchen, wurden verschiedene Szenarien der Migration stromaufwärts in limnische Habitate simuliert (Versuch 3). Hier wurde die Fähigkeit zur starken Hyperregulation von ausgewählten Larvenstadien untersucht. Zudem wurde die Stadiendauer sowie die Überlebensrate bei verschiedenen Szenarien analysiert. Die Daten wurden auf Helgoland an der Biologischen Anstalt des Alfred-Wegener-Instituts für Polar- und Meeresforschung in der Zeit vom 28.07.2007 bis zum 27.11.2007 erhoben.

2 Material und Methoden

2.1 Artemien als Futter

Als Futter wurden Artemia sp. der Firma SANDER`S benutzt. Die Zysten wurden täglich in Seewasser (32 ‰) angesetzt und belüftet bei 24 °C gehalten. Nach 24 Stunden wurden die geschlüpften Nauplien gesiebt. Das Seewasser mit den Nauplien wurde erst mit einem Sieb der Maschenweite 200 µm von größeren Nauplien und Zysten befreit. Anschließend wurden aus dem verbleibenden Seewasser mit Nauplien mit einem Sieb der Maschenweite 100 µm weitere Nauplien von dem Seewasser getrennt. Die Nauplien (kleiner als 200 µm und größer als 100 µm) werden im Weiteren als frische Artemien bezeichnet. Diese wurden mit Süßwasser mit Hilfe einer Spritzflasche gewaschen und an juvenile Garnelen und Garnelenlarven verfüttert. Anschließend wurden die restlichen Nauplien erneut in Seewasser unter Belüftung angesetzt und nach weiteren 24 Stunden mit einem 200 µm Netz gesiebt und mit Süßwasser gewaschen. Diese Artemien werden im Weiteren als ältere Artemien bezeichnet und an adulte Garnelen verfüttert.

2.2 Hälterung der Adulten und eiertragenden Weibchen

Die adulten *Macrobrachium amazonicum* wurden in Wassertonnen aus Plastik bei 29 °C gehältert. In jeder Wassertonne mit einem Durchmesser von etwa 150 cm und einer Höhe von etwa 120 cm lebten getrennt nach Altersklassen etwa 10 bis 20 Individuen. Jede Wassertonne besaß einen Zufluss und einen Ablauf, somit herrschte ein ständiger langsamer Durchfluss. Sie wurden unter einem 12 Stunden Licht- (Tag) (7:00 Uhr bis 19:00 Uhr) und 12 Stunden Dunkelrhythmus (Nacht) (12 h/12 h) gehalten. Dies spiegelte die Bedingungen des natürlichen Lebensraumes wider. Die Garnelen wurden in Süßwasser (0,16 ‰) gehalten. Alle 2 Tage wurde das Wasser zu ca. 80 % ausgetauscht. Die Wassertonnen wurden rund um die Uhr belüftet, um ausreichende Sauerstoffversorgung zu gewährleisten. Gefüttert wurden die adulten Tiere täglich mit älteren Artemien sowie abwechselnd mit Karottenspänen, Planktontabletten, Fischresten und Asseln.

Die eiertragenden Weibchen wurden isoliert in Becken bei 24 °C und einem 12 h/12 h Lichtrythmus gehalten. Die Weibchen wurden mit Asseln, Karotten und Planktontab-

letten gefüttert. Jedes Becken war mit Wasser der Salinität 1 ‰ gefüllt und besaß einen Zu- und Ablauf. Durch dieses Durchflusssystem konnte ein Netz mit einer Maschenweite von 300 µm unter dem Abfluss montiert werden, um die geschlüpften Larven aufzufangen. Die Netze wurden täglich auf frisch geschlüpfte Larven hin kontrolliert und gesäubert. Die Weibchen trugen die Eier in der Regel drei Wochen und die Larven schlüpften vorwiegend in der Nacht.

2.3 Aufzucht der Larven und Juvenilen

Die frisch geschlüpften Larven wurden in 3 l bzw. 5 l Bechergläsern, je nach Größe der Brut, gehalten. Die Larven von *Macrobrachium amazonicum* schlüpften in der Regel innerhalb von ein bis zwei Nächten. Diese wurden bei einer Salinität von 10 ‰ gehalten und dauerhaft belüftet. Täglich wurde das Wasser gewechselt und anfallende Exuvien oder tote Individuen aussortiert. Bei der Aufzucht wurden die Larven ab dem zweiten Stadium mit frischen Artemien gefüttert. Nach der Metamorphose zum Juvenilstadium wurden diese in ein Becken mit Wasser der Salinität 1 ‰, bei 24 °C und unter einem 12 h/12 h Lichtrhythmus zur Nachzucht überführt. Die Juvenilen wurden wie die Adulten gefüttert und nach etwa 4 Monaten auch wie diese gehältert.

2.4 Versuche

2.4.1 Versuch 1a: Entwicklung und Mortalität unter dauerhaftem osmotischem Stress (konstante Salinität ab Schlupf)

In diesem Versuch wurde die Auswirkung von dauerhaftem osmotischem Stress auf die Entwicklung und Mortalität der Larven untersucht. Hierfür wurden die Larven direkt nach dem Schlupf in verschiedene Salinitäten überführt. Untersucht wurden die Larven bei Süßwasser und den Salinitäten 1 ‰, 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Als Süßwasser wurde Leitungswasser mit einer Salinität von etwa 0,16 ‰ genutzt. Die Larven bei 10 ‰ dienten als Kontrollgruppe, da diese Salinität in der Regel in der Aquakultur zur Larvenaufzucht genutzt wird. Der gesamte Versuch wurde bei 29 °C und einem 12 h/12 h Lichtrhythmus durchgeführt. Je Salinität wurden 50 Individuen angesetzt, die erst in Gruppenhälterung und ab dem zweiten Stadium in Einzelhälterung aufgezogen und beobachtet wurden. Somit wurde sichergestellt, dass die numerischen Stadien, die aufgrund der Anzahl vorausgegangener Häutungen mit den gefundenen Exu-

vien als Indikator definiert sind, bestimmt werden konnten. Die Larven in Gruppenhaltung wurden zu je 10 Individuen in Kristallierschalen aus Glas von SCHOTT mit einem Durchmesser von 8 cm und einer Höhe von 4,5 cm gehalten. Ab dem zweiten Stadium wurden die Larven in einen PVC Becher von NUNC mit einem Durchmesser von 5,3 cm, einer Höhe von 5,2 cm und einem Volumen von 100 ml überführt. Bei allen Versuchen wurden die Larven in den Gefäßen auf weißen Plastiktablets in Plastikregalen in den temperierbaren Räumen gehalten. Die benötigten Salinitäten wurden aus gefiltertem Nordseewasser (32 ‰), das durch Kies (1 µm) gefiltert wurde, und Leitungswasser (0,16 ‰) eingestellt. Der Wert wurde mit dem Salinometer Cond 330i ($\pm 0,05$ ‰) von WTW überprüft. Das Wasser wurde vor dem Gebrauch für 24 Stunden in 5 l Plastikkanistern temperiert und dauerhaft belüftet, um eine maximale Sauerstoffsättigung zu gewährleisten. Das Wasser in den Versuchgefäßen wurde täglich gewechselt. Die Larven wurden ab dem zweiten Stadium täglich mit frischen Artemien *ad libitum* gefüttert. Der Wasserwechsel und die Fütterung erfolgten jeweils zur gleichen Uhrzeit, um einen 24-Stunden-Rhythmus zu gewährleisten. Während des täglichen Wasserwechsels wurden Häutungen und tote Individuen dokumentiert; letztere wurden aus dem Versuch entfernt. Sobald Larven die Metamorphose zum Juvenilen vollzogen hatten, wurde dokumentiert, in welchem Stadium dies war, und die Juvenilen aus dem Versuch entfernt. Die Stadien wurden mit Hilfe eines Binokulares von ZEISS und nach dem Schlüssel (siehe Einleitung) bestimmt. Die untersuchten Larven stammten alle aus einer Brut, um die genetische Varianz in den Entwicklungsmustern zu minimieren. Die Larven im Süßwasser und in den Salinitäten 1 ‰, 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰ und 20 ‰ schlüpften am 01.08.2007. Die Larven bei Salinität 25 ‰ und Salinität 32 ‰ schlüpften am 02.08.2007.

2.4.2 Versuch 1b: Bestimmung des Trockengewichtes pro Individuum zur Überprüfung des Wachstums bei verschiedenen Salinitäten

Um kumulative Effekte oder eine Akklimatisierung der Larven bei den verschiedenen Salinitäten genauer zu überprüfen, wurde der Versuch 1a wiederholt. Diesmal wurden die Salinitäten 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ untersucht. Hier wurde das Wachstum, gemessen als Trockengewicht pro Individuum, als Kriterium für den Einfluss der Salinität genutzt. Analysiert wurden die Stadien 3, 6 und 9. Die Larven wurden wie in Versuch 1a beschrieben aufgezogen. Durch die tägliche Überprüfung in Einzelhaltung konnte sichergestellt werden, dass sich die untersuchten Larven in annähernd gleichen Abschnit-

ten des Häutungszykluses befanden. Da eine bestimmte Menge an Biomasse für die Trockengewichtsbestimmungen vorhanden sein musste, wurden hierfür Individuen gleicher Stadien und gleicher Bedingungen zusammengefasst. Unmittelbar nach dem Schlupf wurde das Stadium 1 (Zoea) analysiert. Hierfür wurden je 6 Individuen in 5 Parallelanalysen gemessen. Im Stadium 3 als frühes Larvenstadium (Zoea) wurden je 5 Individuen pro Salinität in 5 Parallelanalysen gemessen. Im Stadium 6 als mittleres Larvenstadium (früher Dekapodit) wurden je 4 Individuen pro Salinität in 5 Parallelanalysen untersucht. Im Stadium 9 als spätes Larvenstadium (später Dekapodit) wurden je 3 Individuen pro Salinität in 5 Parallelanalysen analysiert. Die untersuchten Larven schlüpften am 08.11.2007. Um die Messung nicht zu beeinträchtigen, wurden die Tiere vor der Analyse gewaschen und so von anhaftendem Salz befreit. Dazu wurden die Larven mit einer rund geschmolzenen Glaspipette aus den Bedingungen in ein Schälchen mit destilliertem Wasser überführt, weiter in einem zweiten Schälchen mit destilliertem Wasser gewaschen und anschließend auf fusselfreiem Zellstoff von KIMWIPES-LITE einige Sekunden vorgetrocknet. Nun wurden die Larven mit einer Federstahlpinzette in zuvor gewogene Zinn-Kartuschen TYP 240 05300 von CE INSTRUMENTS eingesetzt, diese wurden in Vertiefungen eines PVC-Tellers aufbewahrt. Bis zur Analyse wurden die Probenteller bei $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ aufbewahrt. Die Proben wurden über Nacht in einem Gefriertrockner GT 2E von LYOVAC vakuumgetrocknet. Auf diese Weise wurde den Larven die Körperflüssigkeit entzogen. Die getrockneten Proben wurden mit einer Ultramikrowaage UMT 2 von METTLER mit einer Empfindlichkeit von $< \pm 0,1\text{ }\mu\text{g}$, wie die zuvor gewogenen leeren Zinn-Kartuschen, gewogen.

2.4.3 Versuch 2: Ontogenetische Änderung der Salinitätstoleranz (mit verschiedenen Salinitäten in jedem Larvenstadium)

In diesem Versuch wurde das Vorhandensein einer ontogenetischen Änderung der Salinitätstoleranz überprüft. Hierfür wurden die Entwicklungsdauer eines Stadiums in das darauf folgende Stadium sowie die Mortalitätsrate verwendet. Untersucht wurden Süßwasser und die Salinitäten: 1 ‰, 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Das Wasser wurde wie in Versuch 1a beschrieben behandelt und eingestellt. In jedem Stadium wurden 200 Larven untersucht; je 25 Replikate pro Salinität. Um diese Anzahl an Larven (insgesamt 2000 für die 10 untersuchten Stadien) zu garantieren, wurde darauf verzichtet, dass alle untersuchten Larven aus einer Brut stammten. Innerhalb eines Stadi-

ums stammten die Larven aus einer Brut, um bei den Aussagen innerhalb der Stadien die genetische Varianz als Faktor möglichst gering zu halten.

Bei der Aufzucht der Larven ist ein Phänomen aufgetreten, das hier als Sprungphänomen bezeichnet wird: etwa ab Stadium 7 sind Individuen aus den Versuchsbehältern gesprungen oder an der oberen Innenwand haften geblieben und vertrocknet. Im Stadium Juvenil wurden statt 25 nur 3 Individuen je Salinität gesetzt, da durch das Sprungphänomen nicht ausreichend Individuen das Juvenilstadium erreicht hatten. Im Stadium 9 wurden statt 25 nur 8 Individuen je Salinität, bei Salinität 25 ‰ nur 7 Individuen eingesetzt, da durch das Sprungphänomen und frühzeitige Metamorphose nicht ausreichend Individuen das Stadium 9 erreicht hatten. Die Ergebnisse in diesen Gruppen wurden dennoch als Trend ausgewertet und dargestellt, um ein Gesamtbild zu zeigen. Die Larven wurden in Einzelhälterung in PVC Bechern bei Salinität 10 ‰, Temperatur 29 °C und einem 12 h/12 h Lichtrhythmus aufgezogen. Täglich wurde ein Wasserwechsel vorgenommen und die Larven wurden ab dem zweiten Stadium mit frischen Artemien *ad libitum* gefüttert. Nach Häutung zu dem zu untersuchenden Stadium wurden die Larven in die Salinitäten überführt und bei sonst gleich bleibenden Bedingungen weiter aufgezogen. Bis zur nächsten Häutung wurde weiterhin täglich das Wasser der Larven gewechselt und die Larven wurden täglich gefüttert. Anschließend wurden die Larven aus dem Versuch genommen. Die Daten des Schlupfes für die jeweiligen Stadien, die in die Versuchsbedingungen eingesetzt wurden, sind in Tabelle 2.1 zusammengefasst.

Tabelle 2.1: Daten des Schlupfes für die jeweiligen Stadien von *Macrobrachium amazonicum*, die in die Bedingungen im Versuch 2 eingesetzt wurden.

Numerisches Stadium	Datum des Schlupfes
1, 2 und 3	10.08.2007
4	17.08.2007
5 und 6	22.08.2007
7 und 8	12.09.2007
9 und Juvenil	19.09.2007



2.4.4 Versuch 3: Adaption ausgewählter Larvenstadien und Juveniler an Süßwasser (0,16 ‰)

In den oben beschriebenen Versuchen wurde eine hohe Mortalitätsrate bei Süßwasser beobachtet. Nach diesen Beobachtungen wurde ein Adaptionsversuch an Süßwasser durchgeführt. Hierzu wurden die Stadien 3 als Zoea, 6 als früher Dekapodit, 8 als später Dekapodit und Juvenile untersucht. Beobachtet wurden die Entwicklungsdauer zum jeweils darauf folgenden Stadium sowie die Mortalitätsrate in jedem Stadium. Verglichen wurden eine schnelle und eine langsame Senkung der Salinität. Je Stadium wurden 50 Individuen, 25 pro Versuchansatz, untersucht. Auch hier stammten zwar die Larven eines Stadiums in den jeweiligen Versuchsansätzen aus einer Brut, nicht jedoch alle in diesem Versuch untersuchten Individuen. Die Larven, die im Stadium 3 eingesetzt wurden, schlüpften am 4.10.2007, die im Stadium 6 und Stadium 8 eingesetzten schlüpften am 29.09.2007 und die als Juvenile eingesetzten schlüpften am 22.09.2007. Die Larven wurden wie in Versuch 2 beschrieben bis zu dem zu untersuchenden Stadium aufgezogen. Anschließend wurden die Larven in die Versuchsbedingungen gesetzt und täglich gefüttert und das Wasser nach dem Versuchsdesign gewechselt. Die Versuchsdauer war auf maximal 5 Tage ausgelegt. Das Wasser wurde wie in Versuch 1a beschrieben behandelt und eingestellt. Um die feineren Abstände genauer zu bestimmen, wurde hier mit dem Salinometer HI 98129 – HI 98130 ($\pm 0,005$ ‰) von HANNA INSTRUMENTS gearbeitet.

Versuchsdesign: schnelle Senkung der Salinität

Salinität:	5 ‰	1 ‰	0,5 ‰	0,16 ‰	0,16 ‰	0,16 ‰	0,16 ‰
	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I
Dauer:	2 h	3 h	15 h	24 h	24 h	24 h	24 h

Versuchsdesign: langsame Senkung der Salinität

Salinität:	5 ‰	1 ‰	0,7 ‰	0,4 ‰	0,16 ‰	0,16 ‰	0,16 ‰
	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I	I-----I
Dauer:	3 h	4 h	15 h	24 h	24 h	24 h	24 h

2.5 Bilder

Die Bilder wurden mit der Kamera E 330 von OLYMPUS in Verbindung mit einem Binokular von OLYMPUS angefertigt. Bearbeitet wurden die Bilder mit dem Programm CELL D, imaging software for life science microscopy von OLYMPUS soft imaging solutions GmbH.

2.6 Auswertung der Daten

Die Graphiken wurden mit MICROSOFT OFFICE EXCEL 2003 erstellt. Aufgrund des Sprungphänomens (siehe 2.4.3) variiert die Anzahl der untersuchten Individuen. Diese Daten wurden als verlorene Daten betrachtet und in der Auswertung nicht berücksichtigt.

Aus den Beobachtungen wurden die Entwicklungsdauer (Versuch 1a, 2 und 3) und die kumulative Entwicklungsdauer bis ins Juvenilstadium (Versuch 1a) errechnet und graphisch als Mittelwerte und Standardabweichung (nur als plus) dargestellt. So wurden auch die Trockengewichte pro Individuum (Versuch 1b) dargestellt. Die Überlebensraten (Versuch 1a, 2 und 3) wurden in Prozent als Anteil der überlebenden Individuen im Stadium von allen Individuen im Stadium errechnet und dargestellt. Zudem wurde aus den Beobachtungen der Anteil Juveniler (Versuch 1a) in Prozent, als Anteil der Juvenilen in einem Stadium bei einer Salinität von allen Juvenilen in einer Salinität berechnet und dargestellt. In den Abbildungen wurde Süßwasser als Salinität 0 ‰ bezeichnet.

Die Daten wurden mit SPSS 11.5 für Windows statistisch ausgewertet. Alle Tests wurden bei einem p-Wert $\leq 0,05$ für statistisch signifikant erklärt. Die verwendeten Testverfahren (KÖHLER et al, 2002) und untersuchten Hypothesen sind in Tabelle 2.2 dargestellt. Die deskriptive Statistik wurde anhand der Abbildungen vorgenommen. Die Abbildungen für den Vergleich der Entwicklungsdauer im Anhang wurden mit STATISTICA 7.1 und die Abbildung zur Korrelation wurde mit SPSS 11.5 erstellt.

2.6.1 Versuch 1a

2.6.1.1 Entwicklungsdauer

Es wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA (Tab. 2.2) getestet, ob die Entwicklungsdauer der Larvenstadien 1 bis 10 von der Salinität des umgebenden Mediums abhing. Stadium 10 wurde als Obergrenze gewählt, da der Großteil der Individuen in den Sta-

dien 9, 10 oder 11 das Juvenilstadium erreichte und somit die Anzahl der zu untersuchenden Individuen in höheren Larvenstadien zu gering für statistisch haltbare Aussagen war. Für die Entwicklungsdauer wurde aufgrund der Robustheit des Testverfahrens bei einer Stichprobengröße ≥ 35 auf einen Test auf Normalverteilung und Homogenität der Varianzen verzichtet. Die Stichproben bei Süßwasser (durchschnittliche Strichprobengröße = 11), bei Stadium 9 (durchschnittliche Strichprobengröße = 32) und bei Stadium 10 (durchschnittliche Strichprobengröße = 22) waren zwar kleiner, dennoch wurden diese gleich ausgewertet, um ein Gesamtbild zu zeigen.

2.6.1.2 Kumulative Entwicklungsdauer bis ins Stadium Juvenil

Es wurde mit einem Spearman-Test (Tab. 2.2) untersucht, ob eine Korrelation zwischen der kumulativen Entwicklungsdauer bis Juvenil und dem Grad der Abweichung der Hälterungs-Salinität von der Salinität 15 ‰ vorlag.

wann diese Wert?

2.6.1.3 Überlebensraten

Es wurde mit einem χ^2 -Homogenitätstest (Tab. 2.2) untersucht, ob sich das Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven in einem Stadium abhängig von der Salinität unterschied. Analysiert wurden die Stadien, in denen natürliche Sterblichkeit auftrat: die Stadien 1 bis 3 und 5 bis 10. Da im Stadium 4 eine Überlebensrate von 100 % in allen Salinitäten auftrat und höhere Stadien nur in geringer Anzahl vorkamen.

2.6.1.4 Anteil Juvenile

Es wurde mit einem χ^2 -Homogenitätstest (Tab. 2.2) untersucht, ob das Aufspaltungsmuster der Juvenilen und nicht juvenilen Larven in einem Stadium bei verschiedenen Salinitäten unterschiedlich war. Untersucht wurden die Stadien, in denen die Metamorphose zum Juvenilen auftrat: die Stadien 9 bis 13. Im Stadium 14, 15 und 16 traten zwar vereinzelt Juvenile auf, doch ergaben sich hieraus nicht genügend Werte für die Auswertung.

2.6.2 Versuch 1b

2.6.2.1 Trockengewicht

Mit einem Mann-Whitney-U-Test (Tab. 2.2) wurde untersucht, ob Gewichtsunterschiede zwischen der Kontrollgruppe bei einer Salinität von 10 ‰ und der Gruppe bei Salinität 1 ‰ oder der Gruppe bei Salinität 32 ‰ in den analysierten Stadien (3, 6 und 9) vor-

kamen. Für den Fall, dass statistisch signifikante Unterschiede auftraten, wurde untersucht, ob die Werte bei Salinität 10 ‰ höher waren als bei Salinität 1 ‰ oder Salinität 32 ‰. Der Wert für Stadium 1 wurde direkt nach dem Schlupf einmalig für alle Salinitäten bestimmt.

2.6.3 Versuch 2

2.6.3.1 Entwicklungsdauer

Es wurde mit einer einfaktoriellen ANOVA (Tab. 2.2) die Entwicklungsdauer der Stadien 1 bis 9 und Juvenil auf Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten getestet. Für die Entwicklungsdauer wurde aufgrund der Robustheit des Testverfahrens bei einer Stichprobengröße ≥ 20 auf einen Test auf Normalverteilung und Homogenität der Varianzen verzichtet. Bei Stadium 8 (durchschnittliche Stichprobengröße = 20), bei Stadium 4 (durchschnittliche Stichprobengröße = 24) und bei Stadium 3 (durchschnittliche Stichprobengröße = 22) waren die Stichproben zwar kleiner, dennoch wurden sie ebenso ausgewertet, um ein Gesamtbild zu zeigen.

2.6.3.2 Überlebensraten

Es wurde mit einem χ^2 -Homogenitätstest (Tab. 2.2) untersucht, ob das Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven in einem Stadium bei verschiedenen Salinitäten unterschiedlich war. Analysiert wurden die Stadien 1 bis 9. Bei den Juvenilen lag eine Überlebensrate von 100 % bei allen Salinitäten vor.

2.6.4 Versuch 3

2.6.4.1 Entwicklungsdauer

Es wurde die Entwicklungsdauer des Stadiums 8 und der Juvenilen auf Unterschiede bei den zwei untersuchten Adaptionsgeschwindigkeit mit einem Mann-Whitney-U-Test (Tab.2.2) getestet.

2.6.4.2 Überlebensraten

Es wurde mit einem Binomialtest (Tab. 2.2) untersucht, ob die Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven in einem Stadium bei den zwei Adaptionsgeschwindigkeit unterschiedlich waren. Hierfür wurde die Zustandsaufspaltung (tot / lebend) bei der

schnellen Adaption als Anker genutzt und die Zustandsaufspaltung bei der langsamen Adaption damit verglichen.

Tabelle 2.2: Verwendete Testverfahren für die untersuchten Kriterien in den Versuchen mit Hypothesen und untersuchten Variablen.

Versuch 1a	
untersuchtes Kriterium	Entwicklungsdauer
Testverfahren	ANOVA
unabhängige Variable	Salinität, 8 Stufen
abhängige Variable	Dauer [Tage] eines Stadiums
Nullhypothese	$H_0: \mu(SD_1) = \mu(SD_2) = \dots = \mu(SD_8)$ mit: $\mu(SD_i)$ = Mittelwert der Dauer eines Stadiums in der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
Versuch 1b	
untersuchtes Kriterium	kumulative Entwicklungsdauer
Testverfahren	Spearman-Test
unabhängige Variable	Betrag der Abweichung der Salinität von 15 ‰
abhängige Variable	kumulative Entwicklungsdauer bis Juvenil [Tage]
Nullhypothese	$H_0: \zeta$ mit: ζ = Korrelation
Alternativhypothese	$H_1: \zeta > 0$
Versuch 1c	
untersuchtes Kriterium	Überlebensraten
Testverfahren	χ^2 -Homogenitätstest
unabhängige Variable	Salinität, 8 Stufen
abhängige Variable	Aufspaltungsmuster der lebenden und toten Larven in einem Stadium
Nullhypothese	$H_0: p_1 = p_2 = \dots = p_8$ mit: p_i = Aufspaltungsmuster der Larven eines Stadiums bei der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
Versuch 1d	
untersuchtes Kriterium	Anteil Juvenile
Testverfahren	χ^2 -Homogenitätstest
unabhängige Variable	Salinität, 8 Stufen
abhängige Variable	Aufspaltungsmuster der Juvenile und nicht juvenilen Larven in einem Stadium
Nullhypothese	$H_0: p_1 = p_2 = \dots = p_8$ mit: p_i = Aufspaltungsmuster der Juvenile in einem Stadium bei der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
Versuch 1e	
untersuchtes Kriterium	Trockengewicht pro Individuum

Testverfahren	Mann-Whitney-U-Test
unabhängige Variable	Salinität, 2 Stufen
abhängige Variable	Trockengewicht / Individuum
Nullhypothese	$H_0: \mu(TG10) = \mu(TG1) \text{ oder } \mu(TG10) = \mu(TG32)$ mit: $\mu(TGi)$ = Mittelwert des Trockengewichts / Individuum des untersuchten Stadiums in der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: \mu(TG10) > \mu(TG1) \text{ oder } \mu(TG10) > \mu(TG32)$
Versuch 2	
untersuchtes Kriterium	Entwicklungsdauer
Testverfahren	ANOVA
unabhängige Variable	Salinität, 8 Stufen
abhängige Variable	Dauer [Tage] eines Stadiums
Nullhypothese	$H_0: \mu(SD1) = \mu(SD2) = \dots = \mu(SD8)$ mit: $\mu(SDi)$ = Mittelwert der Dauer eines Stadiums in der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
untersuchtes Kriterium	Überlebensraten
Testverfahren	χ^2 -Homogenitätstest
unabhängige Variable	Salinität, 8 Stufen
abhängige Variable	Aufspaltungsmuster der lebenden und toten Larven in einem Stadium
Nullhypothese	$H_0: p_1 = p_2 = \dots = p_8$ mit: p_i = Aufspaltungsmuster der Larven eines Stadiums bei der i-ten Salinitätsstufe
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
Versuch 3	
untersuchtes Kriterium	Entwicklungsdauer
Testverfahren	Mann-Whitney-U-Test
unabhängige Variable	Adaptionsgeschwindigkeit, 2 Stufen
abhängige Variable	Dauer [Tage] eines Stadiums
Nullhypothese	$H_0: \mu(SD_1) = \mu(SD_2)$ mit: $\mu(SD_i)$ = Mittelwert der Dauer eines Stadiums bei der i-ten Adaptionsgeschwindigkeit
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$
untersuchtes Kriterium	Überlebensraten
Testverfahren	Binomialtest
unabhängige Variable	Adaptionsgeschwindigkeit, 2 Stufen
abhängige Variable	Aufspaltungsmuster der lebenden und toten Larven in einem Stadium
Nullhypothese	$H_0: p_1 = p_2$ mit: p_i = Aufspaltungsmuster der Larven in der i-ten Adaptionsgeschwindigkeit
Alternativhypothese	$H_1: H_1 \neq H_0$

nicht
ganz
richtig
da TG
2x verw

3 Ergebnisse

3.1 Versuch 1a

3.1.1 Entwicklungsdauer

Die Entwicklungsdauer der jeweiligen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf (Abb. 3.1) zeigen folgendes Bild:

Die Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 1 liegen zwischen 2 Tagen, beispielsweise bei der Salinität 10 ‰ und 3,7 Tagen bei Süßwasser (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 1 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). Bei Süßwasser ist die Entwicklungsdauer länger als in allen anderen Salinitäten. Die Entwicklungsdauer bei Salinität 1 ‰ ist länger als in allen verbleibenden Salinitäten (Abb. II.1).

Im Stadium 2 treten Mittelwerte zwischen 1,2 Tagen bei Salinität 32 ‰ bis 2,6 Tagen bei Süßwasser auf (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 2 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). Die Entwicklungsdauer bei Salinität 32 ‰ ist hier kürzer und die Entwicklungsdauer bei Süßwasser ist länger als bei allen anderen untersuchten Salinitäten. Die Entwicklungsdauer bei Salinität 1 ‰ ist kürzer als bei Süßwasser und länger als bei den anderen Salinitäten (Abb. II.2).

Im Stadium 3 liegen die Mittelwerte zwischen 1,1 Tagen bei Salinität 25 ‰ und 2,1 Tagen bei Salinität 32 ‰ (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 3 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). In der Versuchsgruppe bei Süßwasser erreicht keine Larve das Stadium 3. Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Salinitäten 1 ‰ und 32 ‰. Gruppe 2 besteht aus den Werten bei den Salinität 5 ‰ und 10 ‰. Gruppe 3 bilden die Werte bei den Salinitäten 10 ‰ und 15 ‰. Und Gruppe 4 setzt sich zusammen aus den Werten bei den Salinitäten 20 ‰ und 25 ‰ (Abb. II.3).

Im Stadium 4 schwanken die Mittelwerte zwischen 1,5 Tagen bei Salinität 10 ‰ und 2,2 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 4 zeigt

statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bildet die Salinitäten 1 ‰. Gruppe 2 besteht aus den Werten bei den Salinität 5 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Gruppe 3 bilden die Werte bei den Salinitäten 5 ‰ und 15 ‰. Und Gruppe 4 besteht aus dem Werte bei den Salinitäten 32 ‰ (Abb. II.4).

Im Stadium 5 ergeben sich Mittelwerte zwischen 1,8 Tagen bei Salinität 20 ‰ und 2,2 Tagen bei Salinität 10 ‰ (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 5 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab.I.1). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 1 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 5 ‰ und 20 ‰ (Abb. II.5).

Im Stadium 6 schwanken die Mittelwerte zwischen 1,9 Tagen bei Salinität 5 ‰ und 2 Tagen bei Salinität 25 ‰ (Tab. 3.1). Hier können keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den untersuchten Salinitäten aufgezeigt werden (Tab. I.1).

Im Stadium 7 finden sich Mittelwerte von 2 Tagen bei Salinität 20 ‰ und 2,1 Tagen bei Salinität 25 ‰ (Tab. 3.1). Auch hier gibt es keine statistisch signifikanten Unterschieden bei den untersuchten Salinitäten (Tab. I.1).

Im Stadium 8 treten Mittelwerte von 2 Tagen bei Salinität 1 ‰ bis 2,6 Tagen bei Salinität 15 ‰ auf (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 8 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 10 ‰, 15 ‰ und 25 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 1 ‰, 5 ‰, 20 ‰ und 32 ‰ (Abb. II.6).

Im Stadium 9 schwanken die Mittelwerte zwischen 2,4 Tagen bei Salinität 1 ‰ und 3 Tagen bei Salinität 32 ‰ (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 9 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab.I.1). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 1 ‰, 10 ‰, 20 ‰ und 25 ‰ (Abb. II.7).

Im Stadium 10 ergeben sich Mittelwerte zwischen 2,8 Tagen bei Salinität 1 ‰ und 3,7 Tagen bei Salinität 20 ‰ (Tab. 3.1). Die Entwicklungsdauer von Stadium 10 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.1). Die Entwicklungsdauer bei Salinität 1 ‰ ist hier kürzer als bei Salinität 15 ‰, weitere Unterschiede können nicht gefunden werden (Abb. II.8).

Tabelle 3.1: Höchster und niedrigster Mittelwert der Entwicklungsdauer [Tage] der untersuchten Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* und zugehörige Salinität.

Stadium	niedrigster Mittelwert (bei Salinität)	höchster Mittelwert (bei Salinität)
1	2 (5 ‰-32 ‰)	3,7 (Süßwasser)
2	1,2 (32 ‰)	2,6 (Süßwasser)
3	1,1 (25 ‰)	2,1 (1 ‰)
4	1,5 (10 ‰)	2,2 (1 ‰)
5	1,8 (20 ‰)	2,2 (10 ‰)
6	1,9 (5 ‰)	2,0 (25 ‰)
7	2 (20 ‰)	2,1 (25 ‰)
8	2 (1 ‰)	2,6 (15 ‰)
9	2,4 (1 ‰)	3,0 (32 ‰)
10	2,8 (1 ‰)	3,7 (20 ‰)

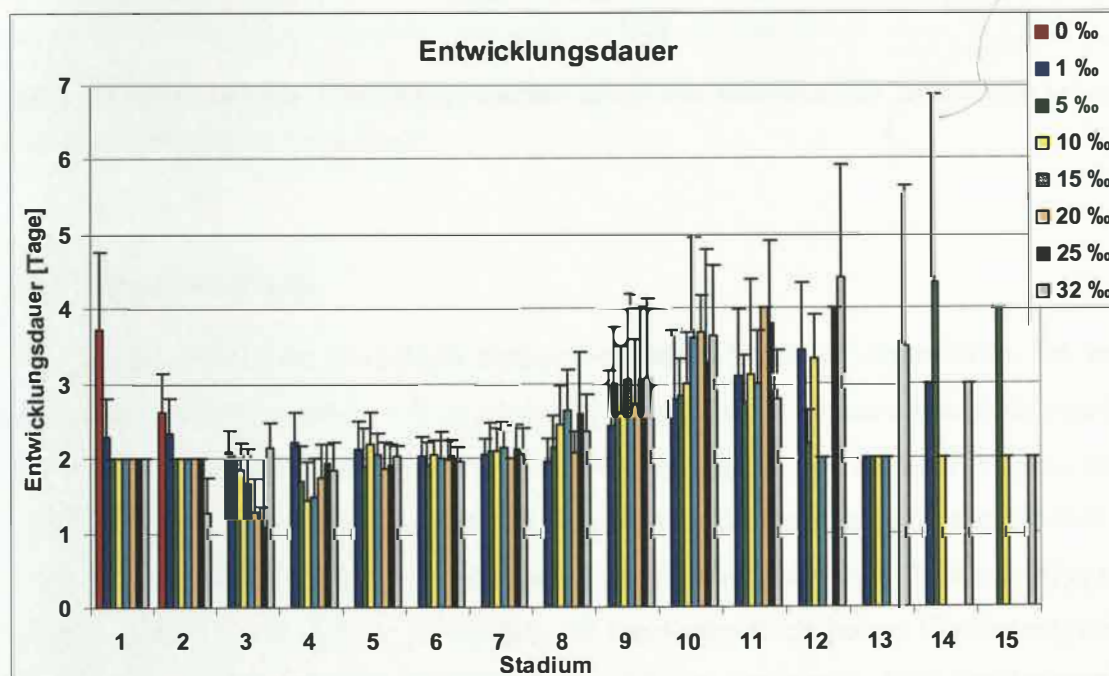


Abbildung 3.1: Entwicklungsdauer der einzelnen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

3.1.2 Kumulative Entwicklungsdauer

Beim Vergleich der kumulativen Entwicklungsdauer von *Macrobrachium amazonicum* bis ins Juvenilstadium (Abb. 3.2) bestätigte sich die Annahme einer Korrelation mit dem Grad der Abweichung der Hälterungs-Salinität von der Salinität 15 ‰ (Abb. II.15). Die statistisch signifikante positive Korrelation zeigt, dass die kumulative Entwicklungsdauer mit dem Grad der Abweichung von 15 ‰ ansteigt (Tab. I.2). Die beobachtete kumulative Entwicklungsdauer ist bei Salinität 20 ‰ mit einem Mittelwert von 18,35 Tagen am kürzesten.

also
für 18,35
von 20
Tages?

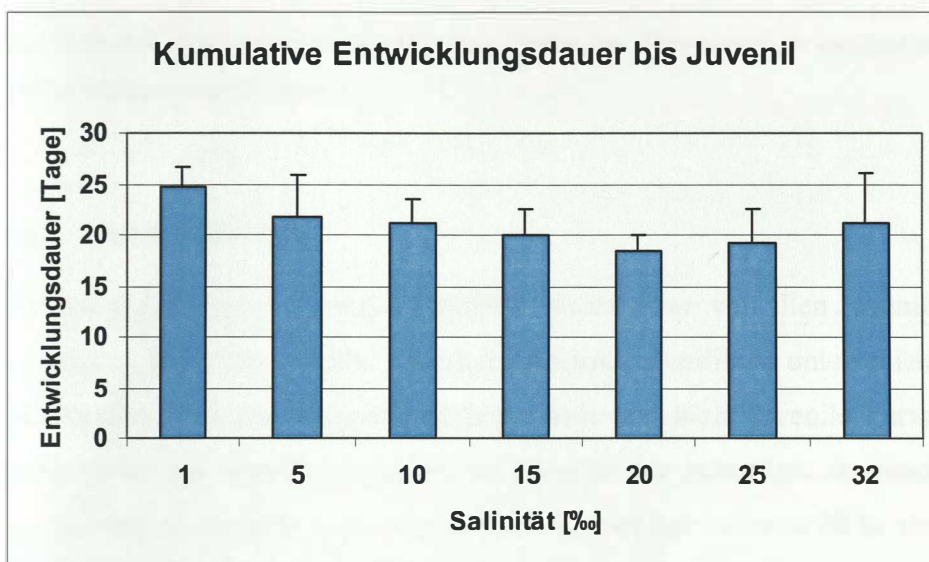


Abbildung 3.2: Kumulative Entwicklungsdauer bis Juvenil von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

3.1.3 Überlebensraten

Die Überlebensraten der jeweiligen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten (Abb. 3.3) ergeben folgendes Bild: Es konnten statistisch signifikante Unterschiede in den Überlebensraten in Abhängigkeit von der Salinität gefunden werden (Tab. I.3). Statistisch signifikante Unterschiede finden sich nur in den Stadien 1, 2 und 3. Hier sind die Überlebensraten bei Süßwasser statistisch signifikant niedriger als bei den anderen untersuchten Salinitäten mit durchschnittlich hohen Überlebensraten. Bei Süßwasser liegt eine Überlebensrate von 30 % im Stadium 1, 47 % im Stadium 2 und 0 % im Stadium 3 vor. In den anderen untersuchten Salinitäten liegt die Überlebensrate in den Stadien 1 bis 10 über 92 %.

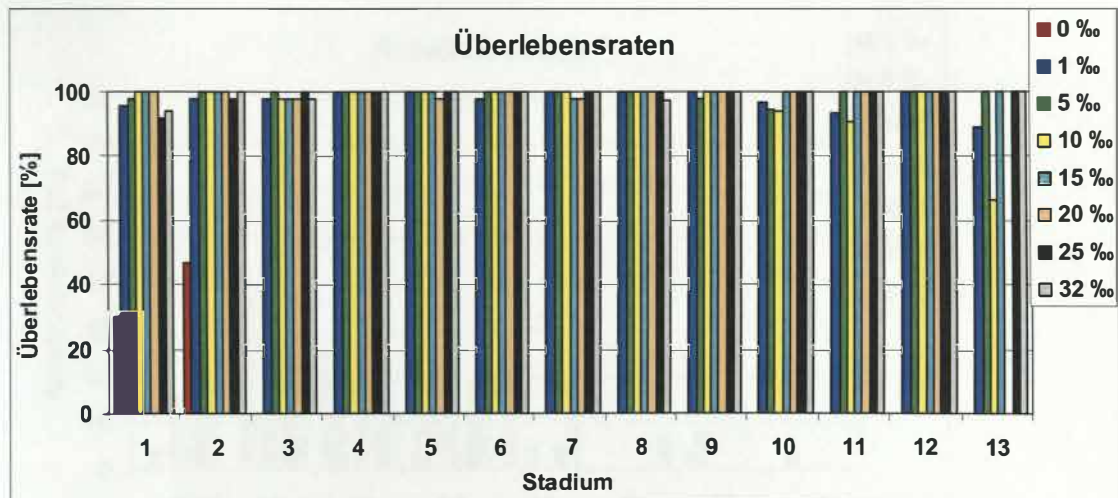


Abbildung 3.3: Überlebensraten der einzelnen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

3.1.4 Anteile Juvenile

Die Anteile an juvenilen *Macrobrachium amazonicum* von allen Juvenilen bei den verschiedenen Salinitäten (Abb. 3.4) sind statistisch signifikant unterschiedlich (Tab. I.4). Im Stadium 9 ist die Aufspaltung in Juvenile und nicht juvenile Larven bei Salinität 25 ‰ statistisch signifikant anders zu Gunsten der Juvenilen. Im Stadium 10 ist die Aufspaltung in Juvenile und nicht juvenile Larven bei Salinität 20 ‰ statistisch signifikant anders zu Gunsten der Juvenilen. In den anderen analysierten Stadien finden sich keine statistisch signifikanten Unterschiede. Auffällig ist eine Verschiebung der Anteile an Juvenilen hin zu höheren Stadien in Salinität 1 ‰, mit einem Maximum im Stadium 12. In der Salinität 10 ‰ wird der Großteil der Larven im Stadium 11 juvenil. In allen weiteren Salinitäten wird der Großteil der Larven im Stadium 10 juvenil.

?
wie
20%
stellen

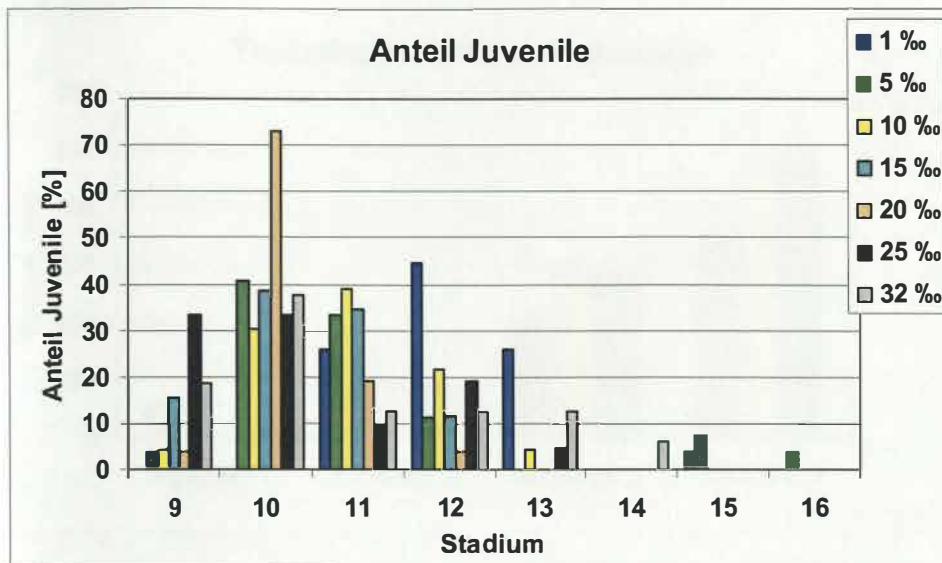


Abbildung 3.4: Anteil der Juvenilen in den einzelnen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

3.2 Versuch 1b

3.2.1 Trockengewicht

Die Trockengewichte pro Individuum in den Stadien 1, 3, 6 und 9 von *Macrobrachium amazonicum* bei den Salinitäten 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ (Abb. 3.5) zeigen statistisch signifikante Unterschiede (Tab. I.5). Verglichen wird in jedem Stadium jeweils das Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 10 ‰ mit dem Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 1 ‰ und 32 ‰. Im Stadium 3 ist das Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 10 ‰ statistisch signifikant niedriger als bei 32 ‰ und statistisch signifikant höher als bei 1 ‰. Im Stadium 6 ist das Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 10 ‰ statistisch signifikant höher als bei 1 ‰, weist jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied zum Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 32 ‰ auf. Im Stadium 9 ist das Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 10 ‰ statistisch signifikant höher als bei 1 ‰, weist jedoch auch hier keinen statistisch signifikanten Unterschied zu dem Trockengewicht pro Individuum bei der Salinität 32 ‰ auf.

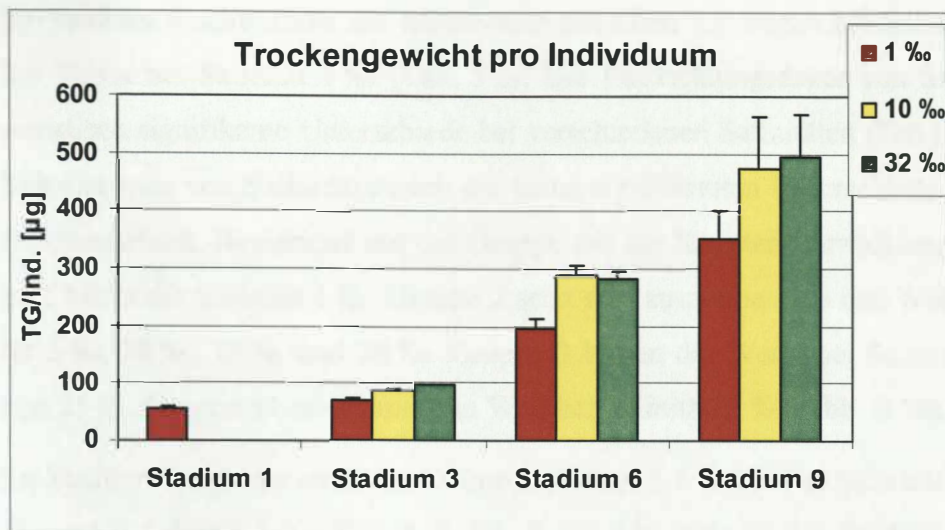


Abbildung 3.5: Trockengewichte pro Individuum in den Stadien 1, 3, 6 und 9 von *Macrobrachium amazonicum* bei 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ ab dem Schlupf.

3.3 Versuch 2

3.3.1 Entwicklungsdauer

Für die Entwicklungsdauer der numerischen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten (Abb. 3.6) im jeweiligen Stadium ergaben sich die in Tabelle 3.2 zusammengestellten Mittelwerte. Die Stichproben bei Süßwasser können nicht ausgewertet werden, da zu wenige Individuen das jeweils darauf folgende Stadium erreicht haben, nur 3 Individuen im Stadium 1 und 2 Individuen im Stadium Juvenil. Für das Stadium 1 konnte keine Analyse erstellt werden, weil keine Varianz auftrat. Die Mittelwerte der Entwicklungsdauer ergeben 2 Tagen bei allen Salinitäten (Tab. 3.2).

Im Stadium 2 liegen alle Mittelwerte bei 2 Tagen, nur bei Salinität 1 ‰ liegt der Mittelwert bei 2,04 Tagen. Die Entwicklungsdauer weist für die untersuchten Salinitäten keine statistisch signifikanten Unterschiede auf (Tab. I.6).

Im Stadium 3 liegen die Mittelwerte zwischen 1,1 Tagen bei Salinität 5 ‰ und 1,8 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 3 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.6). Die Entwicklungsdauer bei Salinität 1 ‰ ist, länger als bei allen anderen untersuchten Salinitäten außer bei Salinität 5 ‰, sonst liegen keine Unterschiede vor (Abb. II.9).

Im Stadium 4 schwanken die Mittelwerte zwischen 1,2 Tagen bei Salinität 32 ‰ und 2,4 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 4 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab.I.6). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bildet die Salinität 1 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰ und 20 ‰. Gruppe 3 bilden die Werte bei Salinität 5 ‰, 15 ‰ und 25 ‰. Gruppe 4 besteht aus dem Wert bei Salinität 32 ‰ (Abb. II.10).

Im Stadium 5 ergeben sich Mittelwerte zwischen 1,8 Tagen bei Salinität 10 ‰ und 2,2 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 5 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab.I.6). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 1 ‰, 20 ‰ und 32 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰ (Abb. II.11).

Im Stadium 6 schwanken die Mittelwerte zwischen 1,9 Tagen, beispielsweise bei Salinität 25 ‰ und 2,5 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 6 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.6). Hier ergibt sich nur eine höhere Entwicklungsdauer für Salinität 1 ‰ zu allen anderen untersuchten Salinitäten, sonst liegen keine statistisch signifikanten Unterschiede vor. (Abb. II.12).

Im Stadium 7 finden sich Mittelwerte von 2 Tagen bei Salinität 15 ‰ und 2,7 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 7 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.6). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusammengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 1 ‰ und 5 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 5 ‰ und 32 ‰. Gruppe 3 bilden die Werte bei Salinität 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰ (Abb. II.13).

Im Stadium 8 treten Mittelwerte von 2,1 Tagen bei Salinität 20 ‰ bis 2,8 Tagen bei Salinität 1 ‰ auf (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer von Stadium 8 zeigt statistisch signifikante Unterschiede bei verschiedenen Salinitäten (Tab. I.6). Es werden hier Gruppen von Salinitätswerten die keine signifikanten Unterschiede aufweisen zusam-

mengefasst. Beginnend mit der Gruppe mit der längsten Entwicklungsdauer: Gruppe 1 bilden die Werte bei Salinität 1 ‰, 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 25 ‰ und 32 ‰. Gruppe 2 setzt sich zusammen aus den Werten bei Salinität 5 ‰, 10 ‰, 15 ‰, 20 ‰ und 32 ‰ (Abb. II.14).

Im Stadium 9 schwanken die Mittelwerte zwischen 2,2 Tagen bei Salinität 20 ‰ und 3,1 Tagen bei Salinität 1 ‰ (Tab. 3.2).

Bei den Juvenilen ergeben sich Mittelwerte zwischen 3,0 Tagen, beispielsweise bei Salinität 5 ‰ und 3,3 Tagen beispielsweise bei Salinität 10 ‰ (Tab. 3.2). Die Entwicklungsdauer bei den verschiedenen Salinitäten im Stadium 9 und bei den Juvenilen weisen keine statistisch signifikanten Unterschiede auf (Tab. I.6).

Tabelle 3.2: Höchster und niedrigster Mittelwert der Entwicklungsdauer [Tage] der untersuchten Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* und zugehöriger Salinität.

Stadium	niedrigster Mittelwert (bei Salinität)	höchster Mittelwert (bei Salinität)
1	2 (Süßwasserr-32 ‰)	2 (Süßwasser -32 ‰)
2	2 (5 ‰-32 ‰)	2,04 (1 ‰)
3	1,1 (5 ‰)	1,8 (1 ‰)
4	1,2 (32 ‰)	2,4 (1 ‰)
5	1,8 (10 ‰)	2,2 (1 ‰)
6	1,9 (25 ‰)	2,5 (1 ‰)
7	2 (15 ‰)	2,7 (1 ‰)
8	2,1 (20 ‰)	2,8 (1 ‰)
9	2,2 (20 ‰)	3,1 (1 ‰)
Juvenil	3,0 (5 ‰)	3,3 (10 ‰)

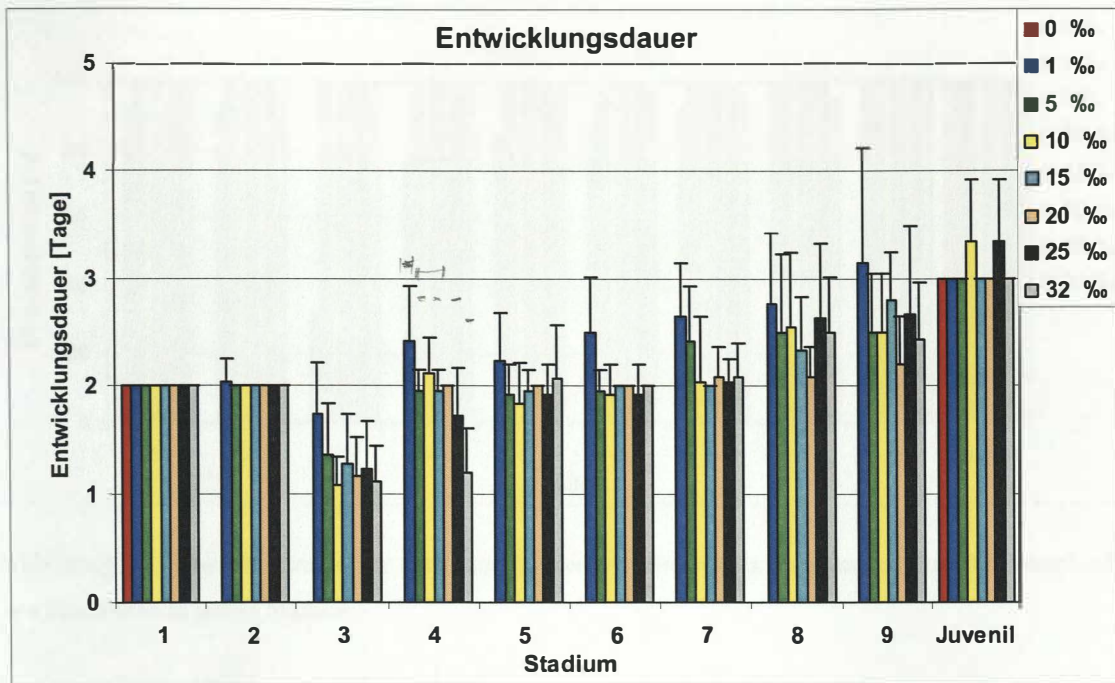


Abbildung 3.6: Entwicklungsdauer der einzelnen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

3.3.2 Überlebensraten

Die Überlebensraten der numerischen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten (Abb. 3.7) in den jeweiligen Stadien zeigen eine Abhängigkeit von der Salinität (Tab. I.7). In allen untersuchten Stadien zeigen sich statistisch signifikante Unterschiede. Bei Süßwasser überleben nur Larven im Stadium 1 und Juvenile. In den Stadien 1 bis 9 sind die Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven bei Süßwasser statistisch signifikant anders zu Gunsten der toten Larven. Im Vergleich mit den verbleibenden Salinitäten ergeben sich für die Salinität 1 ‰ in den Stadien 1 bis 7 die niedrigsten Überlebensraten. Mortalität tritt in allen Stadien nur bei Süßwasser und den Salinitäten 1 ‰ und 32 ‰ auf.

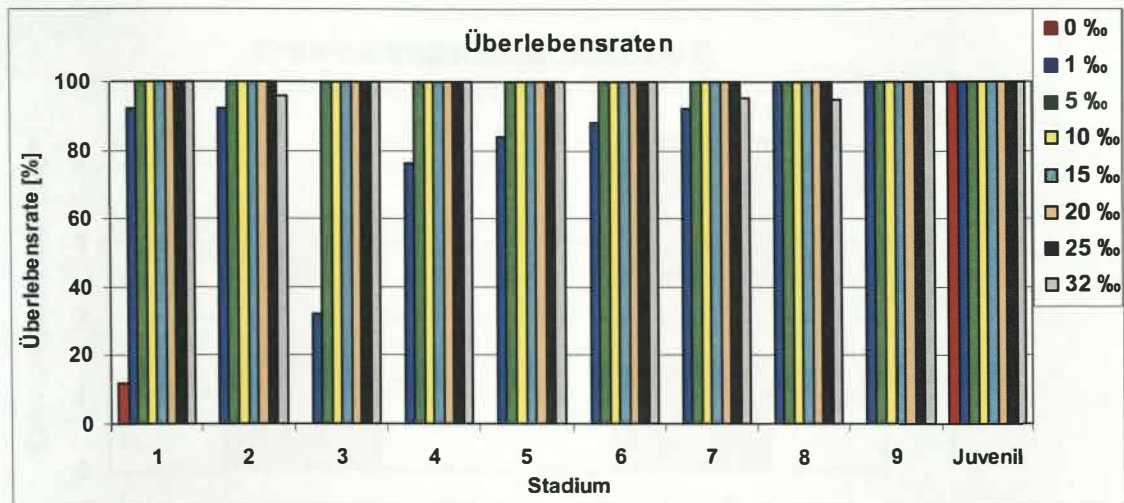


Abbildung 3.7: Überlebensraten der einzelnen Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

3.4 Versuch 3

3.4.1 Entwicklungsdauer

Von den Individuen im Stadium 3 und Stadium 6 (Abb. 3.10) erreichte kein Individuum das jeweils anschließende Stadium, somit können auch keine Daten zur Entwicklungsdauer erhoben werden. Beim Vergleich der Entwicklungsdauer der Stadien 8 (Abb. 3.8) und der Juvenilen (Abb. 3.9) von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten ergibt sich folgendes Bild: Die Entwicklungsdauer der Juvenilen zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied, der von der Adaptionsgeschwindigkeit abhängt (Tab. I.8).

Im Stadium 8 ist die Entwicklungsdauer bei langsamer Adaption statistisch signifikant kürzer als bei schneller Adaption (Tab. I.9).

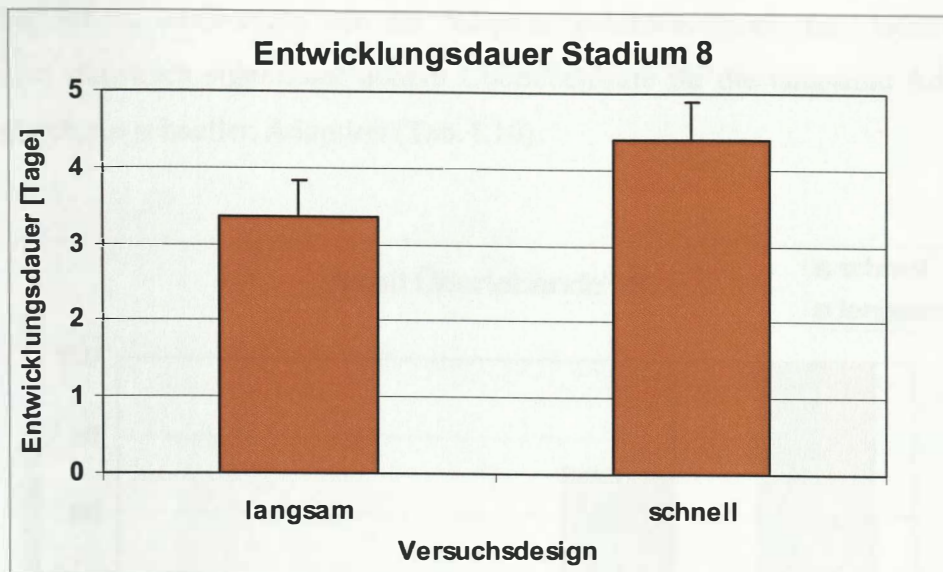


Abbildung 3.8: Entwicklungsdauer der Larven im Stadium 8 von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Adaption an Süßwasser.

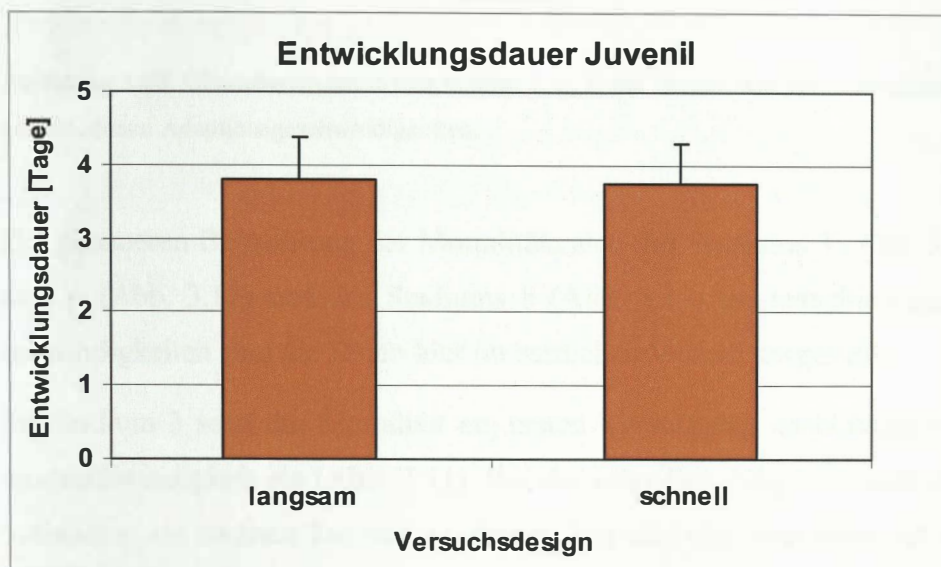


Abbildung 3.9: Entwicklungsdauer der Juvenilen von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Geschwindigkeiten der Adaption an Süßwasser.

3.4.2 Überlebensraten

Beim Vergleich der Überlebensraten der Stadien 3, 6, 9 und Juvenil von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten (Abb. 3.10) fällt auf, dass im Stadium 3 und im Stadium 6 kein Individuum unabhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit überlebt hat. Bei den Juvenilen hingegen liegen die Überlebensraten

bei 100 %, unabhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit. Im Stadium 8 ergibt sich eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate für die langsame Adaption im Vergleich zur schnellen Adaption (Tab. I.10).

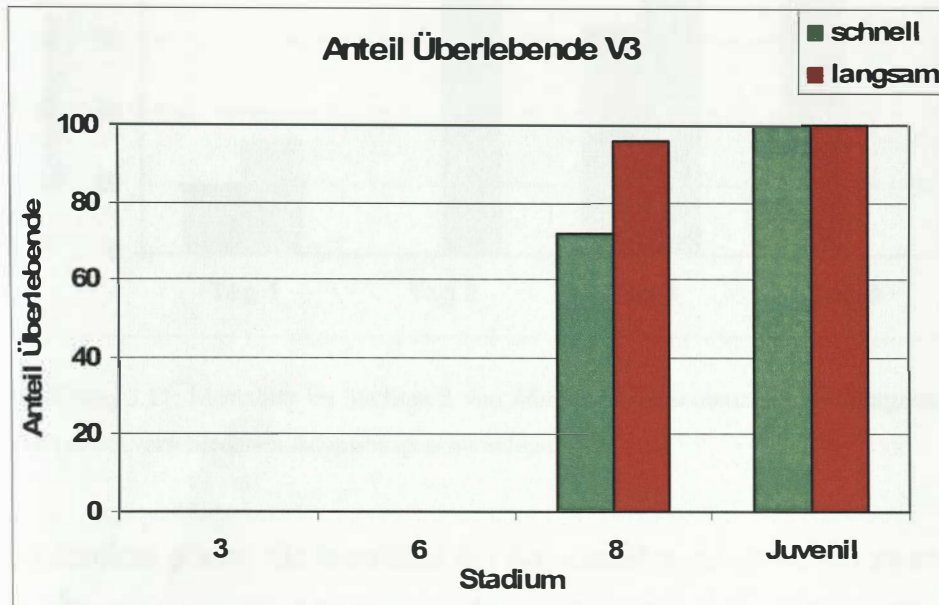
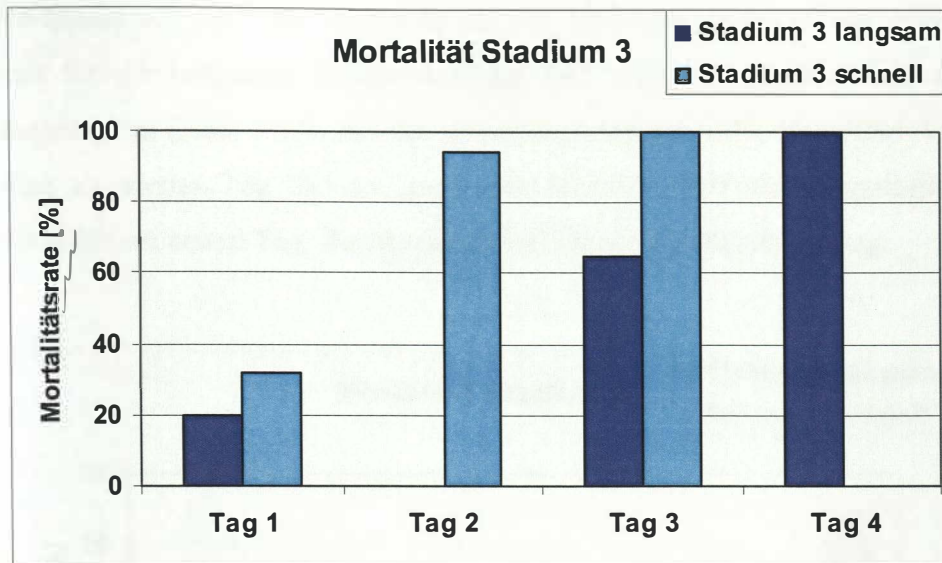


Abbildung 3.10: Überlebensraten in den Stadien 3, 6, 8 und Juvenil von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.

Zur genaueren Betrachtung der Mortalitätsraten des Stadiums 3 (Abb. 3.11), des Stadiums 6 (Abb. 3.12) und des Stadiums 8 (Abb. 3.13) bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten sind die Daten hier im zeitlichen Verlauf dargestellt.

Im Stadium 3 setzt die Mortalität am ersten Versuchstag unabhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit ein (Abb. 3.11). Bei der schnellen Adaption stirbt der Großteil der Individuen am zweiten Tag und am dritten Tag sind alle Individuen tot. Bei der langsamen Adaption sind alle Individuen am vierten Tag tot.



Rein Rate (?)
 unmittelbar
 Verteil Tote
 dargestellt

Abbildung 3.11: Mortalität im Stadium 3 von *Macrobrachium amazonicum*. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.

Im Stadium 6 setzt die Mortalität bei der schnellen Adaption am zweiten Versuchstag und für die langsame Adaption am dritten Versuchstag ein (Abb. 3.12). Bei der schnellen Adaption stirbt der Großteil der Individuen am dritten Tag, womit alle Individuen tot sind. Bei der langsamen Adaption stirbt der Großteil der Individuen am vierten Tag und alle Individuen sind am sechsten Tag tot.

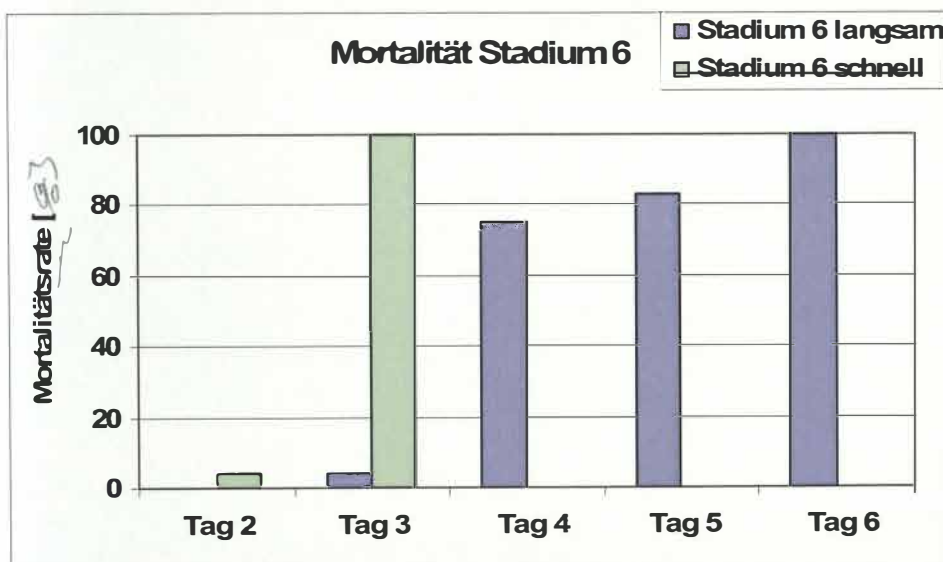


Abbildung 3.12: Mortalität im Stadium 6 von *Macrobrachium amazonicum*. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.

Im Stadium ^{8 ?} 9 setzt die Mortalität bei der schnellen Adaption am dritten Versuchstag und für die langsame Adaption, wenn auch nur in geringem Maß, am ersten Versuchstag ein (Abb. 3.13). Bei der schnellen Adaption stirbt der größte Anteil der Individuen am vierten Tag. Bei der langsamen Adaption stirbt nur ein geringer Anteil der Individuen am ersten Tag; die Mortalität ist hier insgesamt sehr gering.

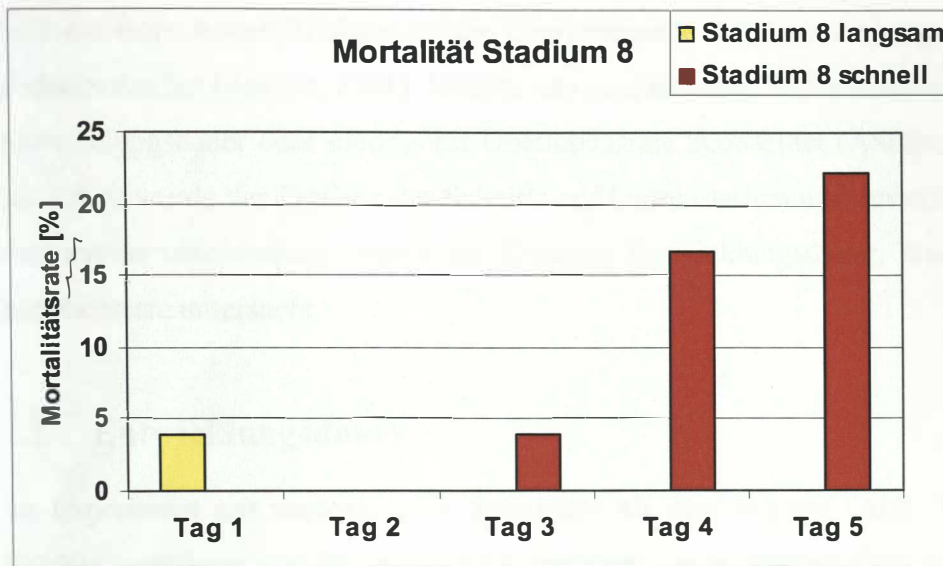


Abbildung 3.13: Mortalität im Stadium 8 von *Macrobrachium amazonicum*. Dargestellt ist der zeitliche Verlauf bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten.



4 Diskussion

Da die meisten metabolischen und anderen physiologischen Prozesse eine stabile osmotische und ionische Umgebung fordern, wird die Salinität als ökologischer Schlüsselfaktor in Küstenzonen und Ästuarien angesehen (ANGER, 2003). Es ist bekannt, dass die Salinität einen hohen Einfluss auf die Überlebensrate und Entwicklungsdauer in Dekapodenlarven hat (ANGER, 2001). Effekte von osmotischem Stress werden in verlängerter Entwicklungsdauer oder niedrigerer Überlebensrate beobachtet (ANGER, 2003). In dieser Arbeit wurde der Einfluss der Salinität auf Larvenstadien und Juvenile der Art *Macrobrachium amazonicum* anhand der Kriterien Entwicklungsdauer, Wachstum und Überlebensrate untersucht.

4.1 Entwicklungsdauer

Im Experiment mit verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf (Abb. 3.1) variiert die Entwicklungsdauer von *Macrobrachium amazonicum* in Abhängigkeit von der Salinität. Der Großteil der untersuchten Larven stirbt oder wird Juvenil innerhalb der ersten zehn Stadien. Die wenigen Individuen, die weitere Stadien bis zur Metamorphose im Entwicklungsmuster durchlaufen haben, können nicht mehr sinnvoll in statistische Vergleiche einbezogen werden.

Die Entwicklungsdauer für Stadium 1 bis 8 schwankt grob um zwei Tage und ist in höheren Stadien verlängert. Bei Süßwasser besitzen die untersuchten Larven in den frühen Stadien zwar noch die Fähigkeit zur Hyperregulation, doch die Schädigungen durch den osmotischen Stress sind so hoch, dass keine der Larven das Stadium 4 erreicht. Bei Süßwasser ist die Entwicklungsdauer im Stadium 1 und Stadium 2 am längsten. Bei Salinität 1 ‰ ist die Entwicklungsdauer der früheren Larven bis einschließlich Stadium 4 länger als in den verbleibenden Salinitäten. In den älteren Larvenstadien kehrt sich das Bild um und die Entwicklungsdauer ist hier bei Salinität 1 ‰ kürzer als bei den anderen Salinitäten.

Die Entwicklungsdauer der Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium ist statistisch signifikant unterschiedlich. Bei den Stadien 2 bis 9 ist die Entwicklungsdauer bei der Salinität 1 ‰ statistisch signifikant am längsten (Abb. 3.6). Dies weist stark darauf hin, dass der Energieaufwand zur

T
Ergebnis
Larvenstadium

aber ohne
Bezug auf
Salinität

10

Hyperregulation hier so hoch ist, dass er sich negativ auf die Entwicklungsdauer auswirkt. Im Stadium 1 und bei den Juvenilen ist dies nicht zu beobachten. Bei Süßwasser sind nur das Stadium 1 und Juvenile in der Lage, das jeweils anschließende Stadium zu erreichen. Diese wenigen Individuen lassen jedoch keinen statistischen Vergleich zu.

Egebnisse



Diese Ergebnisse unterstreichen, dass *Macrobrachium amazonicum* Larven in ihrer Entwicklung abhängig sind von Salzwasser. Zudem zeigen die Ergebnisse, dass die Fähigkeit zur Hyperregulation in frühen Larvenstadien hoch ist, in nachfolgenden Larvenstadien erst abnimmt und in späten Larvenstadien wieder ansteigt und in Juvenilen am größten ist. Diese Unterschiede in den ontogenetischen Stadien unterstreichen die Exportstrategie (STRATHMANN, 1982) von *M. amazonicum*. Die Larven von *M. amazonicum* sind euryhalin (ANGER, 2003). Da der isoosmotische Punkt bei einer Salinität von etwa 16 ‰ liegt (CHARMANTIER und ANGER, mündl. Mitteilung), können die Larven in allen Stadien bei Süßwasser und den untersuchten Salinitäten von 1 ‰ bis 15 ‰ hyperregulieren und von 20 ‰ bis 32 ‰ hyporegulieren.

✓

Die Ergebnisse weisen auf eine untere Grenze des Toleranzbereiches der Larven von *Macrobrachium amazonicum* bei der Salinität 1 ‰. Die ermittelten Toleranzbereiche für die Salinität im Labor sind in der Regel breiter als in der Natur, da hier zudem andere Schlüsselfaktoren, wie beispielsweise Temperatur, Sauerstoffgehalt, Nahrungsangebot und Schadstoffe eine wichtige Rolle spielen (ANGER, 2003).

✓

Der Einfluss der Salinität auf die Entwicklungsdauer scheint in *Macrobrachium amazonicum* für Salinitäten ≥ 5 ‰ gering zu sein. Andere Faktoren der Umwelt, wie die Temperatur oder das Nahrungsangebot, welche Einfluss auf die durchschnittliche Entwicklungsdauer in jedem Stadium haben (ANGER, 1998), wirken sich möglicherweise stärker auf die Entwicklung von *M. amazonicum* aus. Nicht nur die Menge an gelösten Salzen sondern auch die Ionenzusammensetzung ändert sich bei Salinitäten < 5 ‰ (KINNE, 1971), möglicherweise spielt dies eine wichtige Rolle in physiologischen Prozessen.

✓

Beim Vergleich der Entwicklungsdauer ausgewählter Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei der Adaption an Süßwasser in verschiedenen Geschwindigkeiten ergibt sich folgendes Bild:

Egebnisse

Die Entwicklungsdauer der Juvenilen bei *Macrobrachium amazonicum* (Abb. 3.9) zeigt keinen statistisch signifikanten Unterschied abhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit. Dies verdeutlicht die hohe Fähigkeit zur Hyperregulation der Juvenilen. Im Stadium 8 (Abb. 3.8) ist die Entwicklungsdauer bei langsamer Adaption statistisch signifi-

kant kürzer als bei schneller Adaption. Dies weist auf osmotischen Stress hin, der sich in einer verlängerten Entwicklungsdauer ausdrückt (ANGER, 2003).

In den Stadien 3 und 6 von *Macrobrachium amazonicum* können keine Entwicklungsdaten ermittelt werden, da keines der Individuen das jeweils darauf folgende Stadium erreicht hat. Dies weist daraufhin, dass die Fähigkeit der Hyperregulation im Verlauf von Stadium 3 bis Juvenil ansteigt und unterstreicht die Exportstrategie (STRATHMANN, 1982). Demnach sind Juvenile vollkommen angepasst an das Habitat der Adulten.

nicht genau
für Export
entwickeln
→ Exportstrategie
Anpassung

4.2 Kumulative Entwicklungsdauer bis zum Juvenilen

Die kumulative Entwicklungsdauer bis zum Juvenilen unter dauerhaftem osmotischem Stress zeigt bei *Macrobrachium amazonicum* eine positive Korrelation mit der absoluten Abweichung der Hälterungs-Salinität zur Salinität 15 ‰. Je höher die absolute Abweichung ist umso länger ist die kumulative Entwicklungsdauer. Die kürzeste Entwicklungsdauer mit 18,4 Tagen zeigen die Larven bei der Salinität 20 ‰ (Abb. 3.2). Daher ist anzunehmen, dass die Larven bei dieser Salinität keinen Energieaufwand zur Hyper- bzw. Hyporegulation aufbringen müssen und aus diesem Grund die kürzeste Entwicklungsdauer aufweisen. Die längste Entwicklungsdauer zeigen die Larven bei der Salinität 1 ‰ mit 24,7 Tagen.

Salinität
was ist 15 ‰
beim 20 ‰
hier bei 20 ‰
wenn 15 ‰

In einer anderen Untersuchung wurden Larven von *Macrobrachium amazonicum* zwischen 23 und 26 Tagen juvenil (GUEST, 1979), jedoch wurden die Larven dort bei 24 °C und 10 ‰ und nicht wie in dieser Arbeit bei 29 °C aufgezogen. Die Temperatur spielt eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von Dekapoden (ANGER, 2001) und ist daher in diesem Vergleich eher der ausschlaggebende Faktor. Ergebnisse aus der experimentellen Aquakultur für *M. amazonicum* in Brasilien zeigen, bei 10 ‰ und 30,2 ± 0,5 °C eine durchschnittliche Larvenphase von 20 Tagen (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007). Hier wurde bei 10 ‰ und 29 °C eine durchschnittliche Larvenphase von 21,3 Tagen beobachtet. Diese Werte stimmen gut überein mit den Werten aus der experimentellen Aquakultur.

4.3 Anteil Juvenile

Die Anteile an Juvenilen *Macrobrachium amazonicum* in einem Stadium bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf (Abb. 3.4) zeigen statistisch signifikante Unterschiede im Stadium 9 und im Stadium 10. In der Salinität 10 ‰ liegt das Maximum vom Anteil

T
Übertragung
Ergebnisse

Juveniler bei Stadium 11. In den Salinitäten 5 ‰, 15 ‰, 20 ‰, 25 ‰ und 32 ‰ wird der Großteil der Larven im Stadium 10 juvenil. Die Abweichung des Maximums bei Salinität 10 ‰ ist wahrscheinlich nicht ein Effekt der Salinität, sondern vielmehr durch die Variabilität der Entwicklung der Carideen zu erklären (ANGER, 2001; ANGER, 2006). Auffällig ist eine Verschiebung der Anteile an Juvenilen hin zu höheren Stadien in Salinität 1 ‰ mit einem Maximum im Stadium 12. Diese Verschiebung hin zu mehr Larvenstadien kann als stressinduzierte Verlängerung der Larvenphase angesehen werden. In der Natur kann eine stressinduzierte Verschiebung der Metamorphose die Möglichkeit erhöhen, bessere Bedingungen zur Rekrutierung vorzufinden (ANGER, 2006). Auch diese Ergebnisse zeigen die große Fähigkeit zur Hyperregulation der Larven von *M. amazonicum* und weisen die untere Grenze des Toleranzbereiches bei der Salinität 1 ‰ auf.

4.4 Trockengewicht pro Individuum

Bei allen untersuchten Salinität erfolgt eine Gewichtszunahme im ontogenetischen Verlauf der Stadien. Generell werden die Larven von *Macrobrachium amazonicum* in der Aquakultur bei Salinität 10 ‰ aufgezogen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Trockengewichte pro Individuum bei Salinität 10 ‰ im Vergleich mit den Trockengewichten pro Individuum bei Salinität 1 ‰ in allen Stadien statistisch signifikant höher sind (Abb. 3.5). Dies weist darauf hin, dass neben der verlängerten Entwicklung bei Salinität 1 ‰ hier auch weniger Biomasse von den Individuen aufgebaut wird. Verantwortlich hierfür kann die bei Salinität 1 ‰ zusätzlich aufgebrauchte Energie zur Hyperregulation in allen Stadien sein. Im Stadium 3 ist das Trockengewicht pro Individuum bei Salinität 32 ‰ statistisch signifikant höher als bei Salinität 10 ‰, was darauf hinweist, dass die frühen Larvenstadien eine hohe Fähigkeit zur Hyporegulation besitzen. Die sonst nicht statistisch signifikanten Unterschiede der Trockengewichte pro Individuum bei Salinität 32 ‰ im Vergleich zu Salinität 10 ‰ sind höher für Stadium 9, jedoch nicht im Stadium 6; hier scheint die Fähigkeit zur Hyporegulation weniger ausgeprägt zu sein.

Im Labor treten oft Fälle von Laborartefakten im Larvenwachstum und der biochemischen Zusammensetzung der Larven auf. Durch die Aufzucht im Labor mit unbegrenztem Futterangebot und begrenztem Platz zur Fortbewegung können Effekte, wie Verfettung oder reduzierter Aufbau von Muskelproteinen, auftreten (ANGER, 2001). Da die Ergebnisse auf einer geringen Stichprobenzahl beruhen, sollten die Unterschiede in den

Trockengewichten pro Individuum bei den verwendeten Salinitäten mit Vorsicht betrachtet werden. Für die Aquakultur ist es von Interesse die Bedingungen, die die Möglichkeit zu hohem Biomassezuwachs bieten, zu definieren (MOREIRA et al, 1983). Hierfür sollte das Experiment ausführlicher wiederholt werden, unter dem Gesichtspunkt die Auswirkung der Salinitäten zwischen 10 ‰ und 32 ‰ auf das Wachstum der Larven genauer zu betrachten. ✓

4.5 Überlebensraten

Die Überlebensraten der Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf (Abb. 3.3) weisen statistisch signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der Salinität auf. Im Stadium 1, 2 und 3 sind die Überlebensraten bei Süßwasser statistisch signifikant niedriger als bei den verbleibenden Salinitäten mit durchschnittlich hohen Überlebensraten. In den anderen Stadien können keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Die wenigen Individuen die Stadien höher als Stadium 10 erreichen können nicht mehr sinnvoll in statistische Vergleiche einbezogen werden. T
Egalis

Die Überlebensraten der Stadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten in den jeweiligen Stadien zeigen statistisch signifikante Unterschiede (Abb. 3.7). In Süßwasser überleben nur Larven im Stadium 1 und Juvenile. In den Stadien 1 bis 9 sind die Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven bei Süßwasser, im Vergleich mit den anderen Salinitäten, statistisch signifikant verschoben zu Gunsten der toten Larven. Beim Vergleich der verbleibenden Salinitäten ergeben sich für die Salinität 1 ‰ in Stadium 1 bis 7 die niedrigsten Überlebensraten. J

Abgesehen von der erhöhten Sterblichkeit bei Süßwasser und Salinität 1 ‰ scheinen andere Umweltfaktoren wie die Temperatur oder das Nahrungsangebot einen größeren Einfluss auf die Überlebensraten von *Macrobrachium amazonicum* zu haben. Die Ergebnisse bestätigen die Fähigkeit zur Hypo- und Hyperregulation der Larven von *M. amazonicum* sowie ihren euryhalinen Charakter (ANGER, 2003). Die Ergebnisse in den Überlebensraten deuten wie die Ergebnisse der Entwicklungsdauer darauf hin, dass die Fähigkeit der Hyperregulation in frühen ontogenetischen Stadien (Zoea) erst abnimmt und etwa ab Stadium 7 (Dekapodit) wieder ansteigt. In den Stadien 2, 7 und 8 tritt Mortalität bei 32 ‰ auf, dies zeigt den Trend an, dass späte Larvenstadien (Dekapodit) eine verminderte Fähigkeit zur Hyporegulation aufweisen. In allen Stadien tritt Mortalität

nur in Süßwasser und den Salinitäten 1 ‰ und 32 ‰ auf. Diese Salinitäten mit erhöhter Mortalität weisen auf die Grenzwerte des Toleranzbereiches für *M. amazonicum* hin (ANGER, 2003).

Die hier untersuchten *Macrobrachium amazonicum* zeigen in ihrer Entwicklung eine Abhängigkeit von Salzwasser. Einerseits treten in einer Untersuchung mit salzwasserunabhängigen *M. amazonicum* hohe Mortalitätsraten ab Salinität 15 ‰ auf (ZANDER und RODRIGUEZ, 1992), dies ist hier nicht der Fall. Zum anderen ergeben sich hier sehr niedrige Überlebensraten bei Süßwasser ab dem Schlupf und nur Stadium 1 und Juvenile überleben in dieser Salinität bei direkter Exposition jedes Stadiums. Wie die Ergebnisse der Entwicklungsdauer unterstreichen auch die Ergebnisse der Überlebensraten den schnellen Export der frühen Larven in salzreichere Gewässer (STRATHMANN, 1982). Es wird vermutet, dass eiertragende Weibchen sich in Brackwassergebiete begeben und die Larven dort schlüpfen. ✓

Beim Vergleich der Überlebensraten ausgewählter Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei der Adaption an Süßwasser in verschiedenen Geschwindigkeiten zeigt sich folgendes Bild (Abb. 3.10):

Es fällt auf, dass im Stadium 3 und im Stadium 6 kein Individuum unabhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit überlebt hat. Dies zeigt die geringere Fähigkeit zur Hyperregulation in den früheren Stadien im Vergleich zu den späteren Stadien. Im Stadium 8 ergibt sich eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate für die langsame Adaption im Vergleich zur schnellen Adaption. Es bleibt zu untersuchen, ob noch langsamere Adaptionsgeschwindigkeiten die Überlebensraten in diesen Stadien erhöhen würden. Bei den Juvenilen hingegen liegen die Überlebensraten bei 100 %, unabhängig von der Adaptionsgeschwindigkeit. Die Juvenilen weisen somit die größte Fähigkeit zur Hyperregulation im Vergleich mit allen Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* auf.

Bei genauerer Betrachtung der Mortalitätsraten des Stadiums 3 (Abb. 3.11), des Stadiums 6 (Abb. 3.12) und des Stadiums 8 (Abb. 3.13) bei verschiedenen Adaptionsgeschwindigkeiten zeigt sich der Trend, dass die Individuen bei langsamerer Adaptionsgeschwindigkeit später sterben. Im Stadium 8 tritt bei langsamer Adaptionsgeschwindigkeit zwar Mortalität am ersten Tag auf, diese ist aber sehr gering. Eine größere Fähigkeit zur Hyperregulation mit fortschreitender ontogenetischer Entwicklung spiegelt sich auch im zeitlichen Auftreten der Mortalität. Außer dem Wert für Stadium 8 bei langsa-

Denk
meine
Info
für
anly. &

mer Adaptionsgeschwindigkeit, setzt die Mortalität im Stadium 3 am ersten Tag, im Stadium 6 am zweiten Tag und im Stadium 8 am dritten Tag ein.

4.6 Ausblick

Experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung haben den Nachteil, dass sie unter unnatürlich konstant gehaltenen Bedingungen durchgeführt werden, um den Effekt eines oder weniger Faktoren zu untersuchen (ANGER, 2001). Das Nahrungsangebot im Experiment (beispielsweise Artemien), sowie die Dichte des Nahrungsangebotes und der untersuchten Organismen entsprechen meist nicht den natürlichen Bedingungen (ANGER, 2001). Felduntersuchungen haben den Nachteil zeitlich und lokal vorherrschende Bedingungen nur in einem bestimmten Untersuchungszeitraum zu kennen (ANGER, 2001). Zudem sind in Planktonuntersuchungen oft die vorausgegangenen Bedingungen, wie beispielsweise der Ernährungszustand von Larven, nicht bekannt (ANGER, 2001). Um ein detailliertes Bild zu erhalten, sollten experimentelle Daten sowie Felduntersuchungen in Betracht gezogen werden.

Hier wurde die Wirkung der Salinität auf die Entwicklung mit der Entwicklungsdauer als ein Kriterium untersucht. Doch Entwicklungsdauer ist ~~möglicherweise~~ nur ein Symptom unbekannter physiologischer Prozesse der Salinität, deshalb sollten Dekapoden weiter auf physiologische und biochemische Veränderungen während der Larvenphase unter Salinitätsstress untersucht werden (ANGER, 2003). Neben der untersuchten Salinität sind die Temperatur und die genetische Varianz sowie die variablen Muster in der Entwicklung weitere Faktoren, die die Entwicklungsdauer von Carideen beeinflussen (ANGER, 2006).

Die festgestellten Grade der Fähigkeit zur Osmoregulation in den jeweiligen ontogenetischen Stadien stehen unter neuroendokriner Kontrolle (CHARMANTIER und CHARMANTIER-DAURES, 2001), daher sollten auch diese Kontrollmechanismen untersucht werden.

5 Zusammenfassung

Macrobrachium amazonicum ist weit verbreitet in den Ästuarien und inneren Flussgebieten von Venezuela bis Argentinien (CUTOLO DE ARAUJO und VALENTI, 2007). Derzeit wird *M. amazonicum* von den in Brasilien heimischen Arten wegen seines schnellen Wachstums und der leichten Handhabung in Gefangenschaft für die Aquakultur bevorzugt (DA SILVA et al, 2004). In der Aquakultur sind Informationen der unterschiedlichen Bedürfnisse der verschiedenen ontogenetischen Stadien von essentieller Bedeutung, um die Wirtschaftlichkeit zu maximieren.

Die Salinität gilt als ein Schlüsselfaktor in der Entwicklung von Garnelen. Effekte von osmotischem Stress äußern sich in verlängerten Entwicklungsdauer, niedrigeren Überlebensraten, Nahrungsaufnahmeraten und Wachstumsraten sowie verlängerten oder verkürzten Häutungszyklen, Verschiebungen in der Energieverwertung und Änderungen im Verhalten (ANGER, 2003).

In dieser Arbeit werden Effekte der Salinität auf die Entwicklungsdauer, Wachstum und Überlebensrate der Larvenstadien und Juvenilen von *Macrobrachium amazonicum* analysiert. Untersucht werden die Effekte bei konstantem osmotischem Stress ab dem Schlupf (Versuch 1a). Es wird betrachtet, ob die Stadiendauer, die Überlebensraten und der Anteil Juveniler in einem Stadium bei acht verschiedenen Salinitäten variieren. Zudem wird die kumulative Entwicklungsdauer bis ins Juvenilstadium in Abhängigkeit der Salinität untersucht. Untersucht werden Gewichtsunterschiede in ausgewählten Stadien bei unterschiedlichen Salinitäten ab dem Schlupf (Versuch 1b). Zudem werden mögliche Effekte bei osmotischem Stress in jedem Larvenstadium untersucht (Versuch 2). Auch hier werden die Stadiendauer und die Überlebensrate in den jeweiligen Stadien bei acht verschiedenen Salinitäten verglichen. Außerdem wurde der Einfluss der Geschwindigkeit einer Adaption ausgewählter Larvenstadien und Juveniler an Süßwasser untersucht (Versuch 3).

Die Ergebnisse zeigen, dass die hier untersuchten *Macrobrachium amazonicum* in der Entwicklung abhängig von Salzwasser sind. Bei Süßwasser ab dem Schlupf entwickeln die Larven sich nur bis Stadium 4 und bei einer Salinität von 1 ‰ entwickeln sich vor allem frühe Stadien langsamer. In späteren Stadien kehrt sich das Bild um und in geringeren Salinitäten scheint die Entwicklung verkürzt. Im Versuch mit osmotischem Stress

in jedem Stadium ergab sich ein ähnliches Bild. Bei Süßwasser entwickeln sich nur Larven im Stadium 1 und Juvenile zum jeweils nächsten Stadium. Bei der Salinität 1 ‰ zeigt sich in jedem Larvenstadium die längste Entwicklungsdauer.

Die Trockengewichte pro Individuum zeigen bei dauerhaftem osmotischem Stress niedrigere Werte für die Stadien 3, 6 und 9 bei der Salinität 1 ‰ als bei 10 ‰ und 32 ‰. Die kumulative Entwicklungsdauer bis ins Stadium Juvenil ist am kürzesten bei Salinitäten um den isoosmotischen Punkt (16 ‰) und stieg für höhere und niedrigere Salinitäten an. Der höchste Anteil der Juvenilen bei 1 ‰ findet sich im Stadium 11. Dieses Ergebnis zeigt im Vergleich mit den anderen Salinitäten, bei denen der Großteil der Larven im Stadium 10 Juvenil wird, eine Verlängerung der Larvenphase. Im Versuch mit osmotischem Stress in jedem Stadium zeigen nur Stadium 1 und Juvenile die Fähigkeit bei Süßwasser zu überleben. Auch die Überlebensraten bei Salinität 1 ‰ und 32 ‰ sind geringer als in den dazwischen liegenden Salinitäten. Dies scheinen die Grenzen des Toleranzbereiches für die Salinität bei *Macrobrachium amazonicum* zu sein. Diese Ergebnisse zeigen eine erstaunliche Fähigkeit zur Osmoregulation der Larven in allen Stadien bei *M. amazonicum*. Erst bei der Salinität von 32 ‰ zeigen sich verlängerte Entwicklungsdauer und niedrigere Überlebensraten bei konstant osmotischem Stress. Die Fähigkeit zur Hyperregulation scheint bei Stadium 1 noch sehr hoch zu sein und nimmt dann in den darauf folgenden Zoeastadien ab. In den Dekapoditstadien steigt die Fähigkeit zur Hyperregulation wieder an und erreicht ein Maximum im Juvenilstadium. Dieses Ergebnis bestätigt die Exportstrategie, die für *M. amazonicum* vermutet wird. Die frühen Zoeastadien sind in der Entwicklung abhängig von einem stromabwärts gerichteten Transport in Salzwasser. Die späten Dekapoditstadien und vor allem Juvenile zeigen größere Fähigkeit zur Hyperregulation, dies ermöglicht ihnen die stromaufwärts gerichtete Migration in die limnischen Habitate der adulten *M. amazonicum*.

6 Literaturverzeichnis

ANGER, K., 1998, Patterns of growth and chemical composition in decapod crustacean larvae.

Invert. Reprod. Develop., 33(2-3): 159-176

ANGER, K., 2001, The biology of decapod crustacean larvae.

Crustacean Issues, 14, A. A. Balkema, Lisse, the Netherlands

ANGER, K., 2003, Salinity as a key parameter in the larval biology of decapod crustaceans.

Invert. Reprod. Develop., 43(1): 29-45

ANGER, K., SCHUBERT, C. D., 2005, Experimental evidence of food-independent larval development in endemic jamaican freshwater-breeding crabs.

Physiological and Biochemical Zoology, 78(2): 246-258

ANGER, K., 2006, Contributions of larval biology to crustacean research: a review.

Invert. Reprod. Develop., 49(3): 175-205

ANGER, K., TORRES, G., GIMENEZ, L., 2006, Metamorphosis of a sesarmid river crab, *Armases roberti*: stimulation by adult odours *versus* inhibition by salinity stress.

Marine and Freshwater Behaviour and Physiology, 39(4): 269-278

BAYLON, J., SUZUKI, H., 2007, Effects of changes in salinity and temperature on survival and development of larvae and juveniles of the crucifix crab *Charybdis feriatus* (Crustacea:Decapoda:Portunidae).

Aquaculture 269: 390-401

CHARMANTIER, G., CHARMANTIER-DAURES, M., 2001, Ontogeny of osmoregulation in crustaceans: the embryonic phase.

Amer. Zool., 41:1078-1089

CUTOLO DE ARAUJO, M., VALENTI, W. C., 2007, Feeding habit of the Amazon River prawn *Macrobrachium amazonicum* larvae.

Aquaculture 255(1-4): 187-193

DA SILVA, R. R., SAMPAIO, C. M. S., SANTOS, J. A., 2004, Fecundity and fertility of *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Palaemonidae).

Braz. J. Biol., 64(3A): 489-500

FALEIROS, R. O., MCNAMARA, J. C., 2007, Osmoregulatory capability and gill ultrastructure in the diadromous freshwater shrimp, *Macrobrachium amazonicum* (Crustacea, Decapoda).

Comp. Biochem. Physiol. A, 148: 120-123

FREIRE, C. A., CAVASSIN, F., RODRIGUES, E. N., TORRES, A. H., MC NAMARA, J. C., 2003, Adaptive patterns of osmotic and ionic regulation, and the invasion of fresh water by the palaemonid shrimps.

Comp. Biochem. Physiol. A, 136: 771-778

GUEST, W. C., 1979, Laboratory life history of the palaemonid shrimp *Macrobrachium amazonicum* (Heller) (Decapoda, Palaemonidae).

Crustaceana, 37(2): 141-152

KINNE, O., 1971, Marine Ecology. A comprehensive, integrated treatise on life in oceans and coastal waters. Volume 1, Environmental factors, Part 2.

Wiley-Interscience, 1971, John Wiley & Sons Ltd.

KÖHLER, W., SCHACHTEL, G., VOLESKE, P., 2002, Biostatistik, Eine Einführung für Biologen und Agrarwissenschaftler

Springer-Verlag, 2002 Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Dritte, aktualisierte und erweiterte Auflage

MAGALHÃES, C., 1985, The larval development of palaemonids from amazon region reared in the laboratory. 1. *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) (Crustacea, Decapoda).

Amazoniana, 9(2): 247-274

MASUI, D. C., VALENTI, W. C., FURRIEL, R. P. M., LEONE, F. A., 2007, Na⁺/K⁺-ATPase in the freshwater shrimp *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae): characterization of the gill enzyme in juveniles.

Comp. Biochem. Physiol. A, 148: 86-90

MCNAMARA, J. C., MOREIRA, G. S., MOREIRA, P. S., 1983, The effect of salinity on respiratory metabolism, survival and molting in the first zoea of *Macrobrachium amazonicum* (Heller)(Crustacea, Palaemonidae).

Hydrobiologia, 101: 239-242

MCNAMARA, J. C., SOARES MOREIRA, G., SOUZA, S. C. R., 1986, The effect of salinity on respiratory metabolism in selected ontogenetic stages of the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* (Decapoda, Palaemonidae).

Comp. Biochem. Physiol. A, 83(2): 359-363

MENDONCA, N. N., MASUI, D. C., MCNAMARA, J.C., LEONE, F. A., FURRIEL, R. P. M., 2007, Long-term exposure of the freshwater shrimp *Macrobrachium olfersii* to elevated salinity: effects on gill (Na⁺, K⁺)-ATPase α -subunit expression and K⁺-phosphatase activity.

Comp. Biochem. Physiol. A, 146:534-543

MONTOYA, J. V., 2003, Freshwater shrimps of the Genus *Macrobrachium* Associated with Roots of *Eichhornia crassipes* (Water Hyacinth) in the Orinoco Delta (Venezuela).

Caribbean Journal of Science, 39(1): 155-159

MORAES-RIODADES, P. M. C., VALENTI, W. C., 2004, Morphotypes in male Amazon River prawns, *Macrobrachium amazonicum*.

Aquaculture, 236: 297-307

MOREIRA, G. S., MCNAMARA, J. C., MOREIRA, P. S., 1982, The effect of salinity on the metabolic rates of some palaemonid shrimp larvae.

Aquaculture, 29: 95-100

MOREIRA, G. S., MCNAMARA, J. C., SHUMWAY, S. E., MOREIRA, P. S., 1983, Osmoregulation and respiratory metabolism in brazilian *Macrobrachium* (Decapoda, Palaemonidae).

Comp. Biochem. Physiol. A, 74(1): 57-62

NEW, M. B., VALENTI, W. C., 2000, Freshwater Prawn Culture. The farming of *Macrobrachium rosenbergii*.

Blackwell Science, 2000 by Blackwell Science Ltd, Oxford

ODINETZ COLLART, O., 1991, Tucurui dam and the population of the prawn *Macrobrachium amazonicum* in the Lower Tocantins (Pa-Brazil): a four year study.

Arch. Hydrobiol., 122(2): 213-227

PROVERBIO, T., ZANDERS, I. P., REINALDO, M., RODRIGUEZ, J. M., PROVERBIO, F., 1990, Effects of Na⁺ and/or K⁺ on the Mg²⁺-dependent ATPase activities in shrimp (*Macrobrachium amazonicum*) gill homogenates.

Comp. Biochem. Physiol. B, 97(2): 383-390

SANTOS, L. C. F., BELLI, N. M., AUGUSTO, A., LEONE, F. A., MCNAMARA, J. C., FURRIEL, R. P.M., 2007, Gill (Na⁺, K⁺)-ATPase in diadromous, freshwater palaemonid shrimps: species-specific kinetic characteristics and α -subunit expression.

Comp. Biochem. Physiol. A, 148: 178-188

STRATHMANN, R. R., 1982, Selection for retention or export of larvae in estuaries.

Estuarine Comparison, 1982 Academic Press, New York : 531-536

TORRES, G., GIMENEZ L., ANGER, K., 2007, Effects of osmotic stress on crustacean larval growth and protein and lipid levels are related to life-history: the genus *Armasas* as a model.

Comp. Biochem. Physiol. B, 148(2): 209-224

VEGA PEREZ, L. A., 1984, Desenvolvimento larval de *Macrobrachium heterochirus* (Wiegmann, 1836), *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) e *Macrobrachium brasiliense* (Heller, 1868) (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae), em laboratório. PhD Thesis Universidade de São Paulo, Instituto Oceanográfico, 1-277

WESTHEIDE, W., RIEGER, R., 1996, Spezielle Zoologie; Teil 1: Einzeller und Wirbellose Tiere

Spektrum Akademischer Verlag, 2004 Elsevier GmbH, München, korr. und ergänzter Nachdruck der 1. Auflage

ZANDERS, I. P., RODRIGUEZ, J. M., 1992, Effects of temperature and salinity stress on osmoionic regulation in adults and on oxygen consumption in larvae and adults of *Macrobrachium amazonicum* (Decapoda, Palaemonidae).

Comp. Biochem. Physiol. A, 101(3): 505-509



Anhang

I Tabellen zur Statistik

Tabelle I.1: Ergebnis der ANOVA für Entwicklungsdauer der Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

Variablen			Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Entwicklungsdauer Stadium 1 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	44,665	7	6,381	81,539	,000
	Innerhalb der Gruppen		26,763	342	,078		
	Insgesamt		71,429	349			
Entwicklungsdauer Stadium 2 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	31,193	7	4,456	69,426	,000
	Innerhalb der Gruppen		21,310	332	,064		
	Insgesamt		52,503	339			
Entwicklungsdauer Stadium 3 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	44,812	6	7,469	61,882	,000
	Innerhalb der Gruppen		38,501	319	,121		
	Insgesamt		83,313	325			
Entwicklungsdauer Stadium 4 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	18,845	6	3,141	16,942	,000
	Innerhalb der Gruppen		58,952	318	,185		
	Insgesamt		77,797	324			
Entwicklungsdauer Stadium 5 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	4,239	6	,706	5,237	,000
	Innerhalb der Gruppen		42,758	317	,135		
	Insgesamt		46,997	323			
Entwicklungsdauer Stadium 6 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,790	6	,132	1,870	,085
	Innerhalb der Gruppen		22,182	315	,070		
	Insgesamt		22,972	321			
Entwicklungsdauer Stadium 7 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,633	6	,105	1,151	,333
	Innerhalb der Gruppen		28,038	306	,092		

	Insgesamt		28,671	312			
Entwicklungsdauer Stadium 8 * Salinität	Zwischen den Gruppen (Kombiniert)		16,776	6	2,796	11,132	,000
	Innerhalb der Gruppen		69,573	277	,251		
	Insgesamt		86,349	283			
Entwicklungsdauer Stadium 9 * Salinität	Zwischen den Gruppen (Kombiniert)		13,969	6	2,328	2,879	,010
	Innerhalb der Gruppen		166,603	206	,809		
	Insgesamt		180,573	212			
Entwicklungsdauer Stadium 10 * Salinität	Zwischen den Gruppen (Kombiniert)		14,308	6	2,385	2,836	,013
	Innerhalb der Gruppen		91,649	109	,841		
	Insgesamt		105,957	115			

Tabelle I.2: Ergebnis des Spearman-Tests auf Korrelation der kumulativen Entwicklungsdauer bis Juvenil mit dem Betrag der Abweichung der untersuchten Salinität von der Salinität 15 %.

			kumulative Entwicklungsdauer bis Juvenil	Betrag der Abweichung der Salinität von 15 %
Spearman-Rho	kumulative Entwicklungsdauer bis Juvenil	Korrelationskoeffizient	1,000	,325(**)
		Sig. (1-seitig)	.	,000
		N	164	164
	Betrag der Abweichung der Salinität von 15 %	Korrelationskoeffizient	,325(**)	1,000
		Sig. (1-seitig)	,000	.
		N	164	164

wann
eine
solche
Tabelle

** Die Korrelation ist auf dem 0,01 Niveau statistisch signifikant (einseitig).

Tabelle I.3: Ergebnis des χ^2 -Homogenitätstests der Aufspaltungsmuster der toten und lebenden Larven von *Macrobrachium amazonicum* in jedem Stadium bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

Stadium	1	2	3	5	6	7	8	9	10
Chi-Quadrat nach Pearson	197,368 (a)	144,135 (b)	195,069 (c)	6,241 (d)	6,383 (d)	5,108 (e)	6,726 (f)	4,151 (g)	4,894 (h)
df	7	7	7	6	6	6	6	6	6
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,397	,382	,530	,347	,656	,557
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,000	,000	,000	,548	,407	,523	,256	1,000	,548

a 0 Zellen (0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 5,37.

b 8 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,43.
 c 8 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,25.
 d 7 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,14.
 e 7 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,26.
 f 7 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,13.
 g 7 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,11.
 h 7 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,39.

Tabelle I.4: Ergebnis des χ^2 -Homogenitätstests der Aufspaltung in Juvenile und nicht juvenile Larven von *Macrobrachium amazonicum* in einem Stadium bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

Stadium	9	10	11	12	13
Chi-Quadrat nach Pearson	16,585(a)	19,588(b)	15,526(c)	5,921(d)	2,891(e)
df	5	5	6	6	3
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,005	,001	,017	,432	,409
Exakte Signifikanz (2-seitig)	,005	,001	,013	,454	,593

a 6 Zellen (50,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,20.
 b 0 Zellen (,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 5,68.
 c 5 Zellen (35,7%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 2,33.
 d 12 Zellen (85,7%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,44.
 e 7 Zellen (87,5%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist ,35.

Tabelle I.5: Ergebnisse des Mann-Whitney-U-Tests der Trockengewichte pro Individuum bei ausgewählten Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

	Mann-Whitney-U	Wilcoxon-W	Z	Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	Exakte Signifikanz [2*(1-seitig Sig.)]
Salinität 1 Salinität 10 Stadium 3	,000	15,000	-2,611	,009	,008 (a)
Salinität 10 Salinität 32 Stadium 3	,000	15,000	-2,611	,009	,008 (a)
Salinität 1 Salinität 10 Stadium 6	,000	15,000	-2,611	,009	,008 (a)
Salinität 10 Salinität 32 Stadium 6	9,000	24,000	-,731	,465	,548 (a)
Salinität 1 Salinität 10 Stadium 9	3,000	18,000	-1,984	,047	,056 (a)
Salinität 10 Salinität 32 Stadium 9	12,500	27,500	,000	1,000	1,000 (a)

a Nicht für Bindungen korrigiert.

Tabelle I.6: Ergebnis der ANOVA für Entwicklungsdauer der Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium (a).

Variablen			Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Entwicklungsdauer Stadium 2 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,038	7	,005	,923	,491
	Innerhalb der Gruppen		,957	164	,006		
	Insgesamt		,994	171			
Entwicklungsdauer Stadium 3 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	3,635	7	,519	3,154	,004
	Innerhalb der Gruppen		24,700	150	,165		
	Insgesamt		28,335	157			
Entwicklungsdauer Stadium 4 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	19,851	7	2,836	25,043	,000
	Innerhalb der Gruppen		18,232	161	,113		
	Insgesamt		38,083	168			
Entwicklungsdauer Stadium 5 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	2,334	7	,333	3,061	,005
	Innerhalb der Gruppen		17,643	162	,109		
	Insgesamt		19,976	169			
Entwicklungsdauer Stadium 6 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	5,651	7	,807	13,056	,000
	Innerhalb der Gruppen		10,140	164	,062		
	Insgesamt		15,791	171			
Entwicklungsdauer Stadium 7 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	8,386	7	1,198	7,399	,000
	Innerhalb der Gruppen		24,608	152	,162		
	Insgesamt		32,994	159			
Entwicklungsdauer Stadium 8 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	6,609	7	,944	2,608	,015
	Innerhalb der Gruppen		49,598	137	,362		
	Insgesamt		56,207	144			
Entwicklungsdauer Stadium 9 * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	3,400	7	,486	1,001	,448
	Innerhalb der Gruppen		16,505	34	,485		
	Insgesamt		19,905	41			
Entwicklungsdauer Juvenile * Salinität	Zwischen den Gruppen	(Kombiniert)	,493	7	,070	,792	,605

Stadium 3 (langsam)	Gruppe 1	tot	25	1,000	,999	,975	,975
	Gesamt		25	1,000			
Stadium 6 (langsam)	Gruppe 1	tot	25	1,000	,999	,975	,975
	Gesamt		25	1,000			
Stadium 8 (langsam)	Gruppe 1	tot	1	,041667	,280000	,004(a)	,004
	Gruppe 2	lebend	23	,958333			
	Gesamt		24	1,000000			
Juvenil (langsam)	Gruppe 1	lebend	25	1,000	,999	,975	,975
	Gesamt		25	1,000			

a Nach der alternativen Hypothese ist der Anteil der Fälle in der ersten Gruppe $< ,280000$.

b In SPSS wird bei einem Testanteil von 1 ein Testanteil von 0,999 verwendet.

II Abbildungen zur Statistik

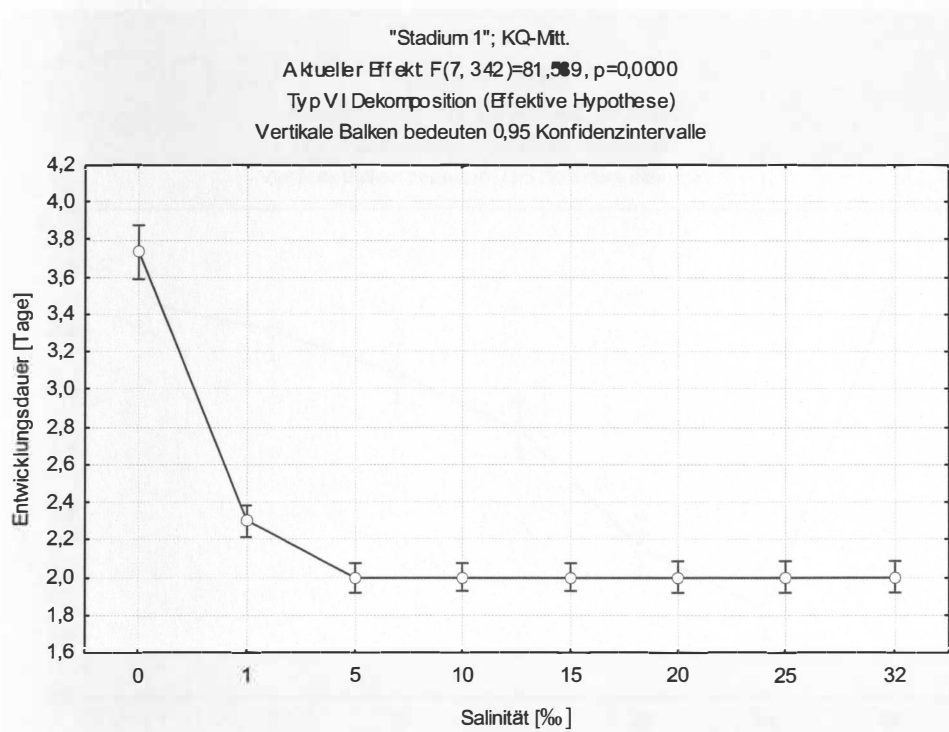


Abbildung II.1: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 1 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

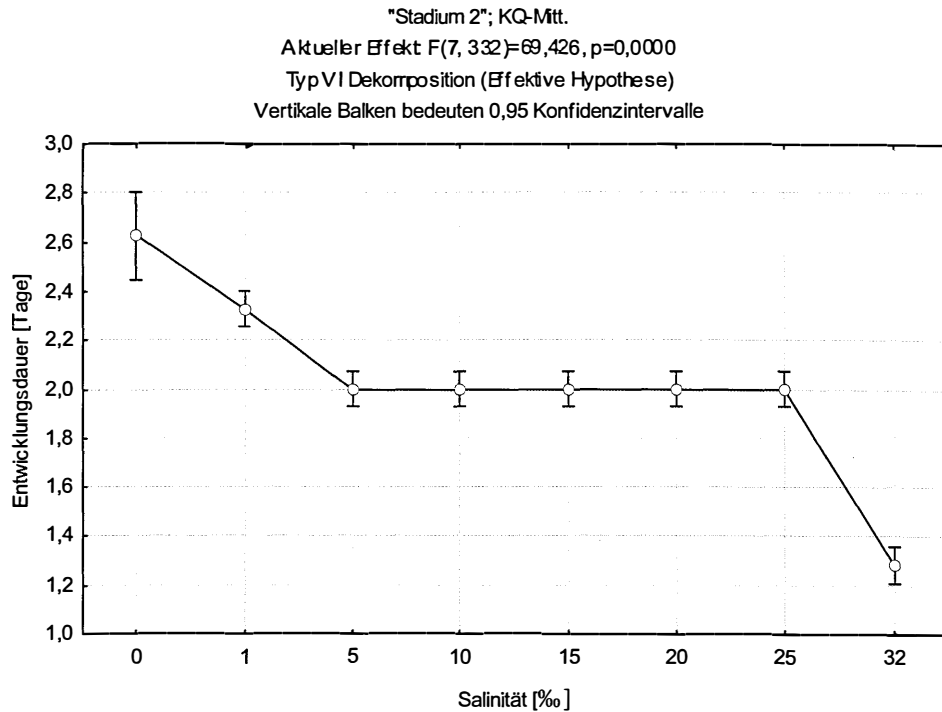


Abbildung II.2: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 2 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

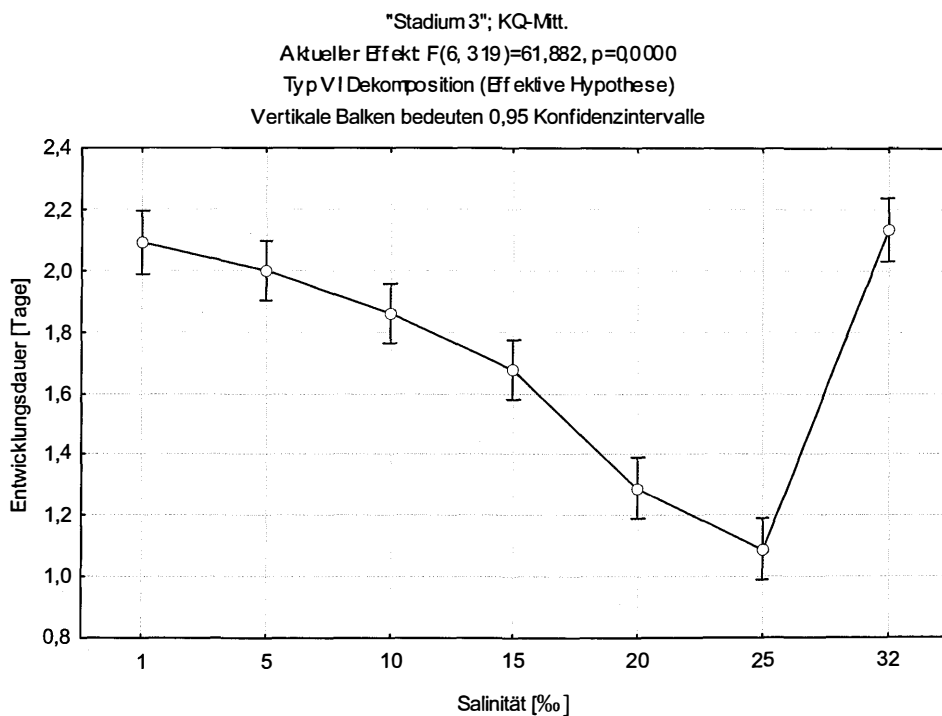


Abbildung II.3: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 3 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

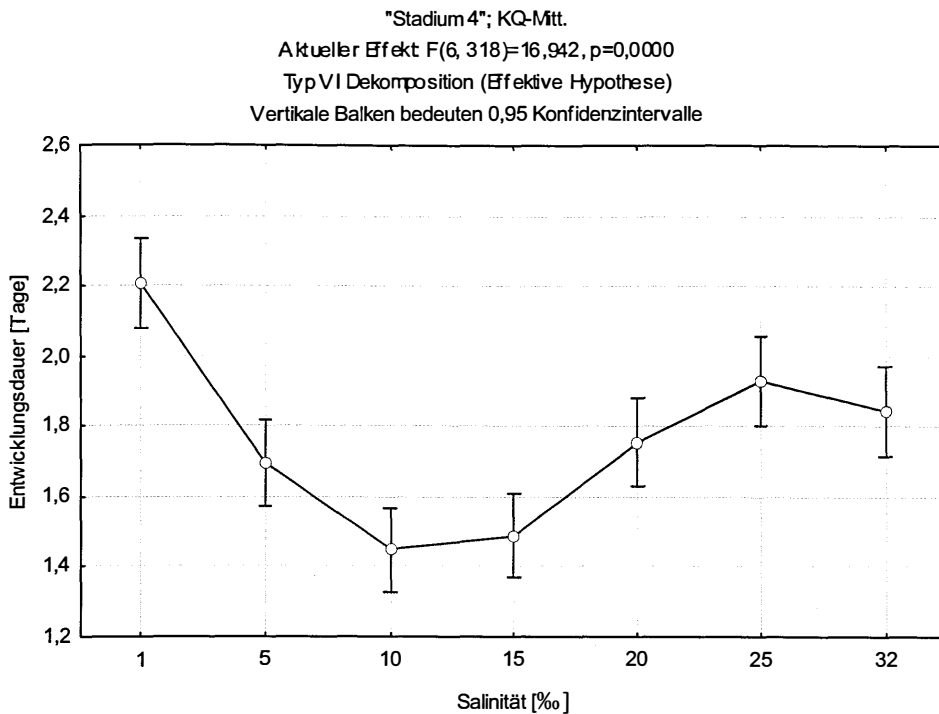


Abbildung II.4: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 4 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

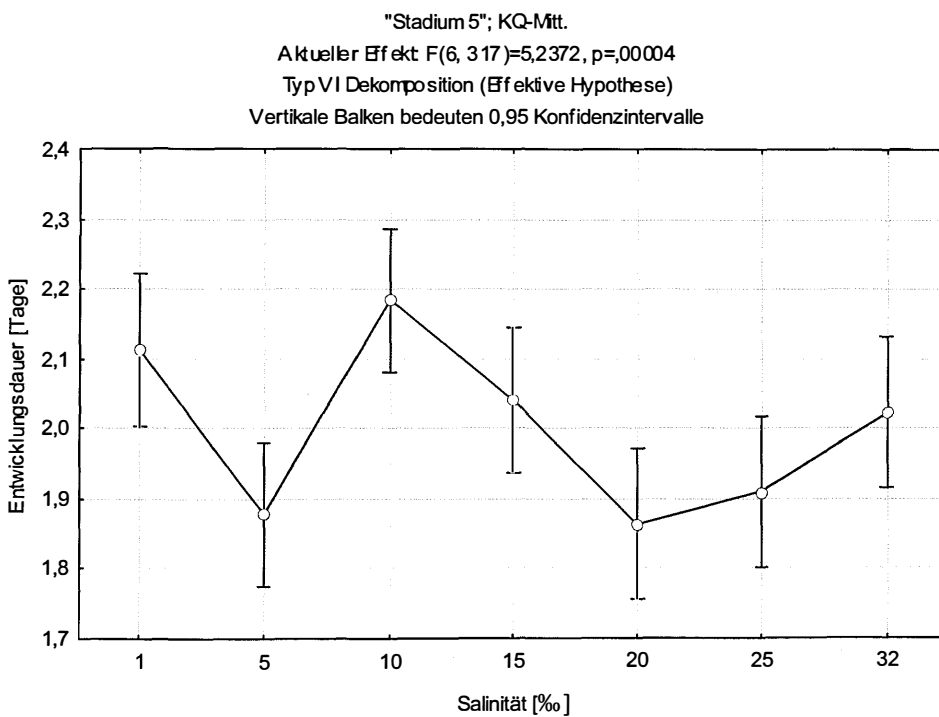


Abbildung II.5: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 5 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

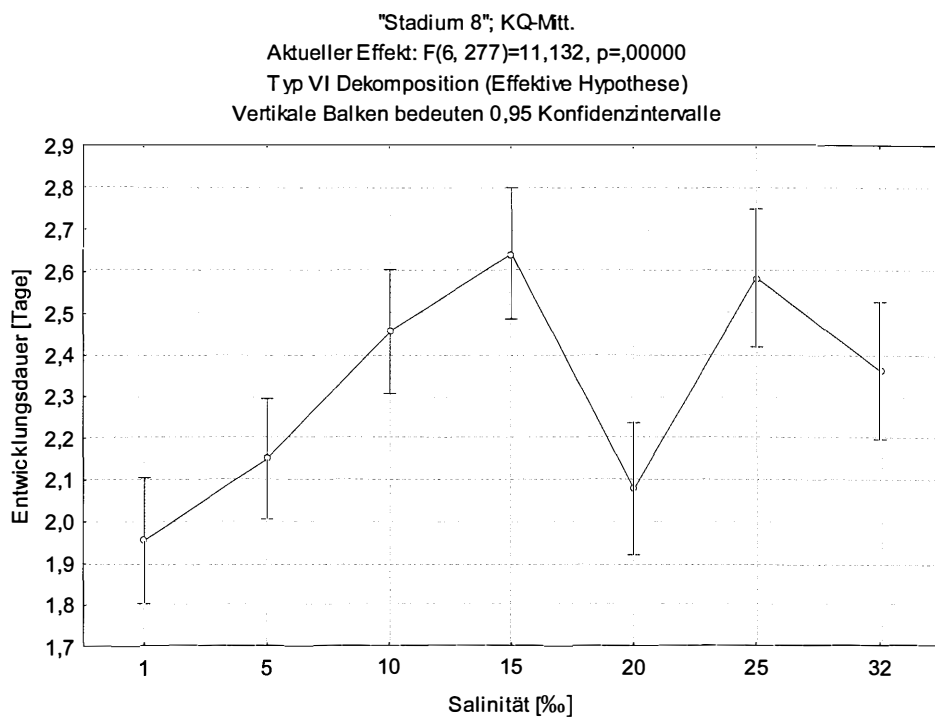


Abbildung II.6: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 8 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

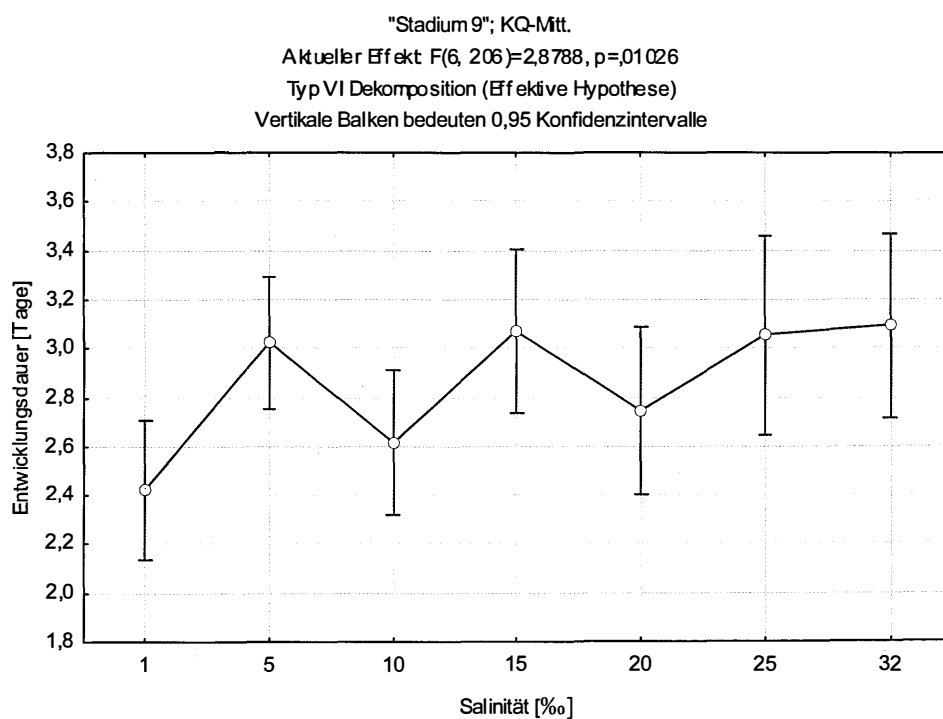


Abbildung II.7: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 9 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

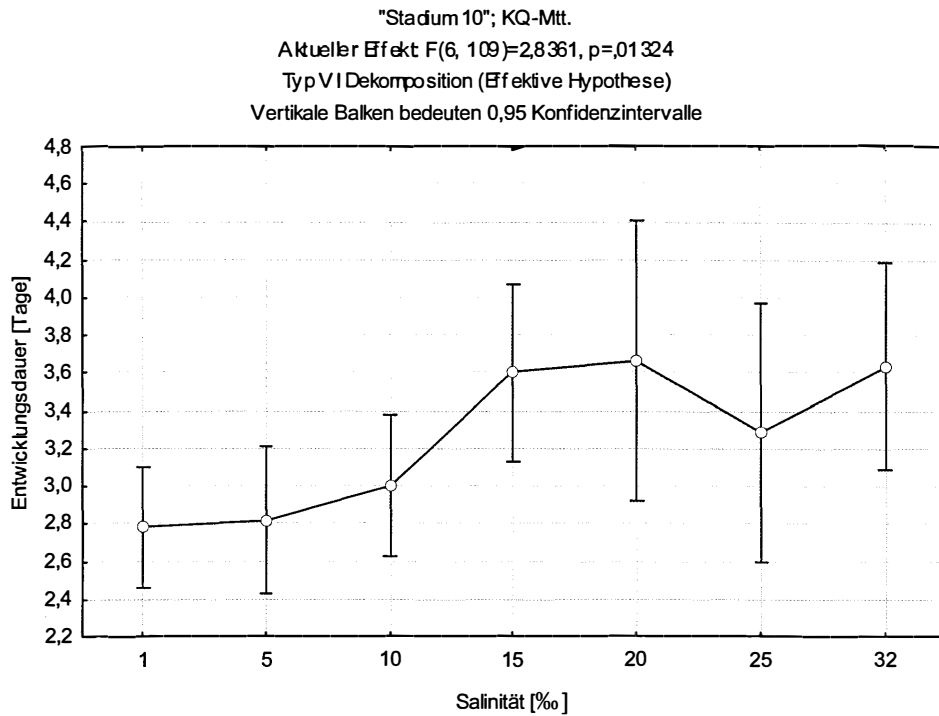


Abbildung II.8: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 10 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten ab dem Schlupf.

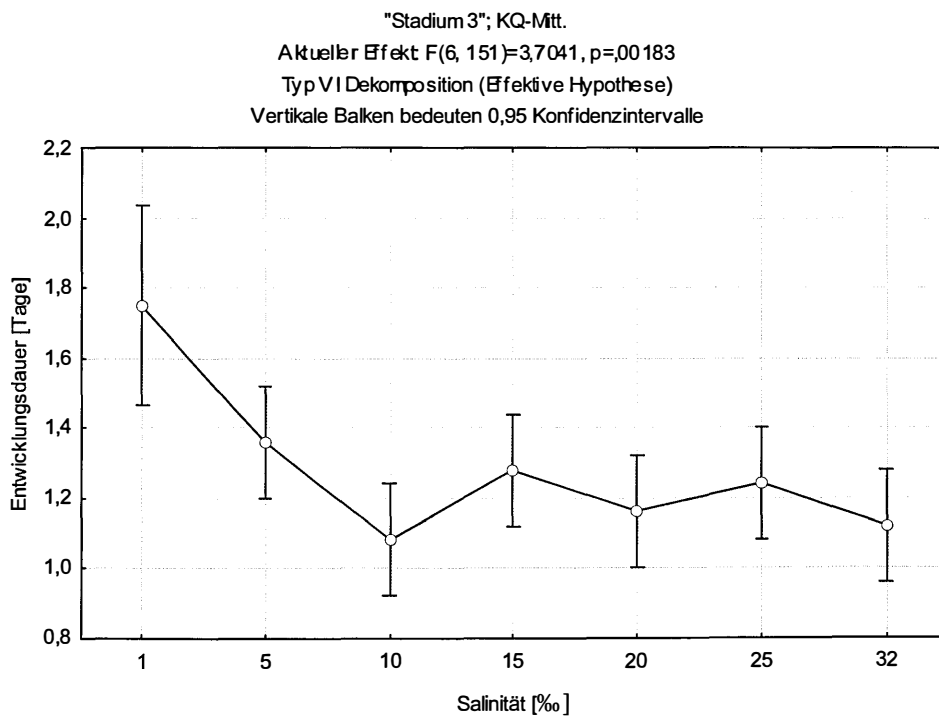


Abbildung II.9: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 3 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

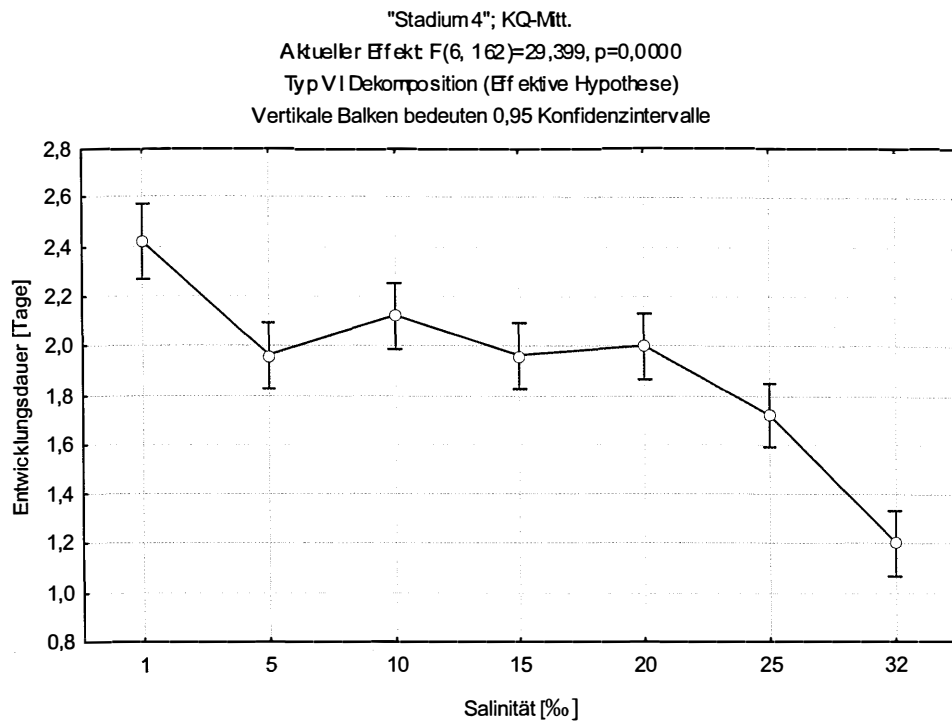


Abbildung II.10: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 4 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

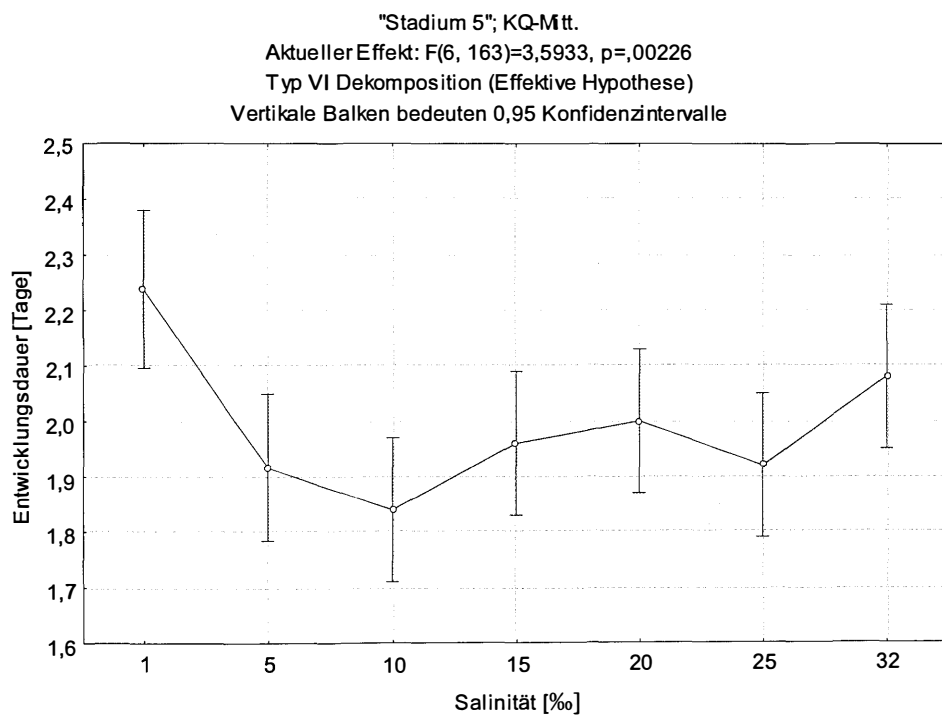


Abbildung II.11: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 5 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

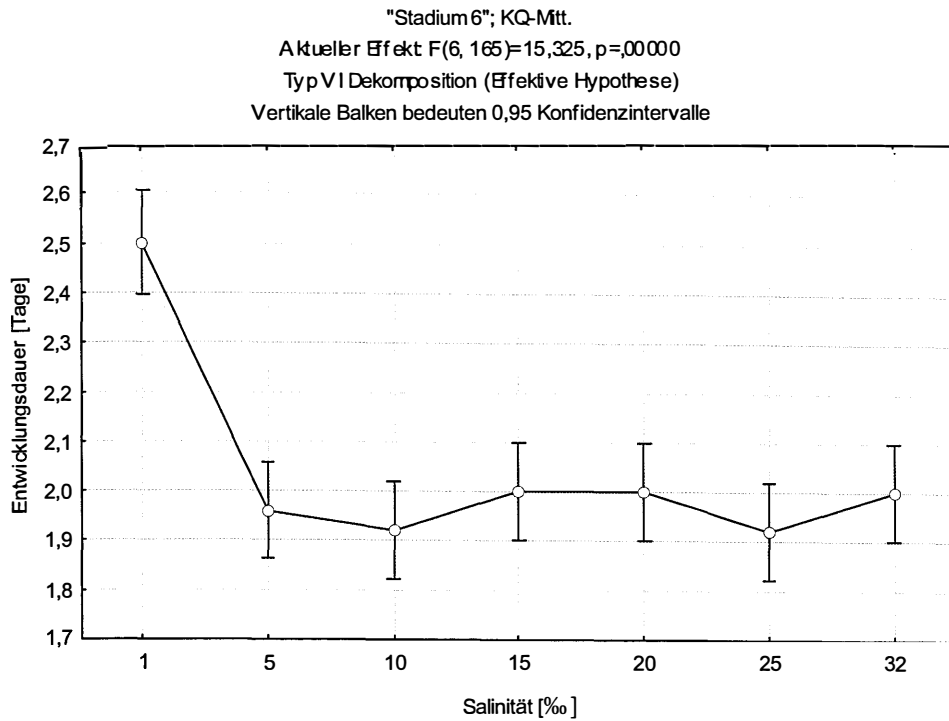


Abbildung II.12: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 6 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

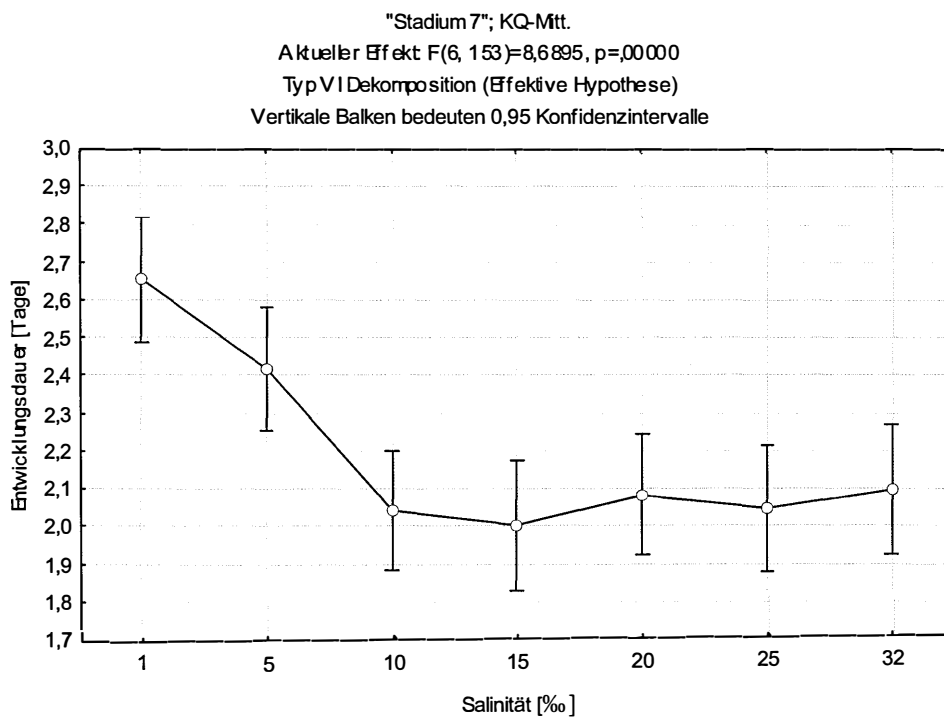


Abbildung II.13: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 7 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

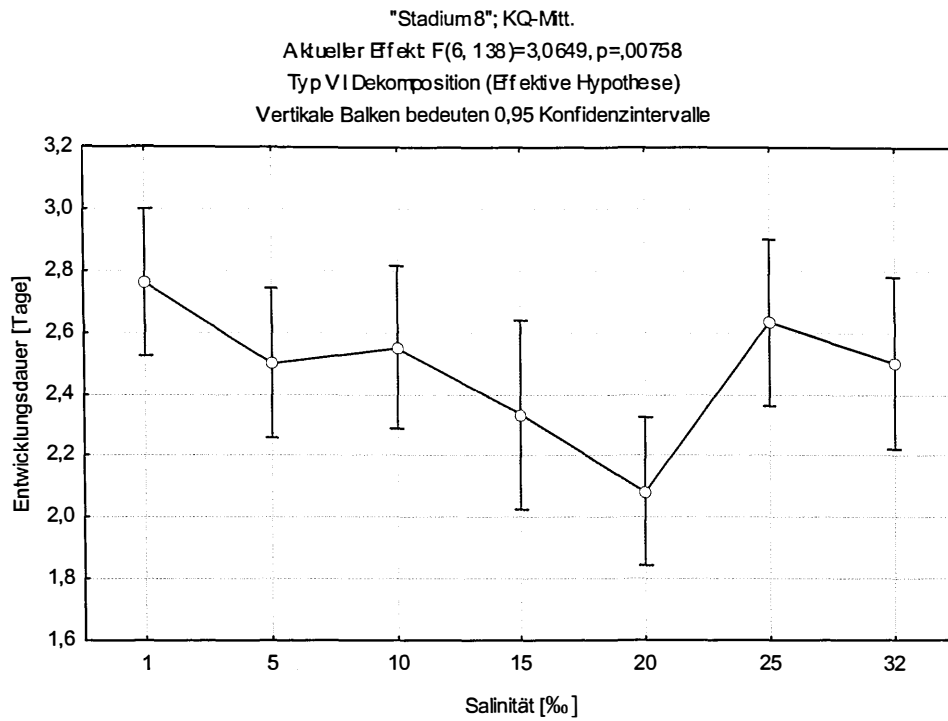


Abbildung II.14: Mittelwerte der Entwicklungsdauer im Stadium 8 von *Macrobrachium amazonicum* mit 95 % Konfidenzintervallen bei verschiedenen Salinitäten in jedem Stadium.

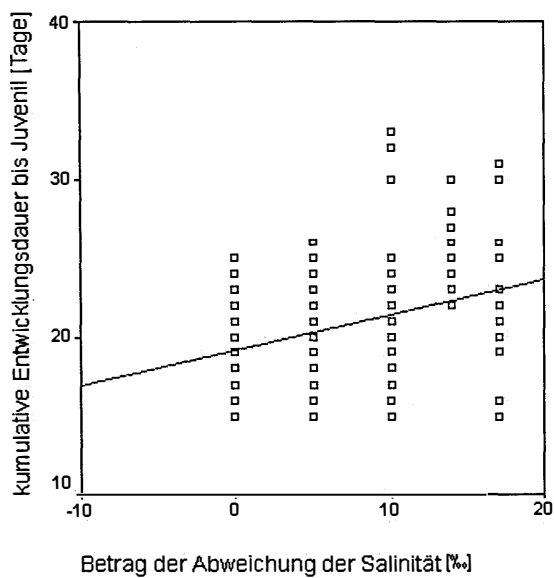


Abbildung II.15: Korrelation von kumulativer Entwicklungsdauer bis Juvenil bei *Macrobrachium amazonicum* mit dem Betrag der Abweichung der untersuchten Salinität von der Salinität 15 ‰.

Tabelle III.9: Trockengewichte (TG) ausgewählter Larvenstadien von *Macrobrachium amazonicum* bei den Salinitäten 1 ‰, 10 ‰ und 32 ‰ ab dem Schlupf.

Nummer	Versuch	Datum	Tara [mg]	Tara + TG[mg]	Anzahl	TG [µg]
1	Stadium 1 bei 1 ‰	8.11.07	7,1753	7,5214	6	346,10
2			7,3964	7,7294	6	333,00
3			6,9877	7,3298	6	342,10
4			7,0744	7,3950	6	320,60
5			7,3477	7,7106	6	362,90
1	Stadium 3 bei 1 ‰	12.11.07	7,1609	7,5250	5	364,10
2			7,0494	7,4087	5	359,30
3			7,0975	7,4458	5	348,30
4			7,0565	7,4141	5	357,60
5			7,1558	7,5001	5	344,30
1	Stadium 3 bei 10 ‰	12.11.07	7,4035	7,8518	5	448,30
2			7,1830	7,6350	5	452,00
3			7,2128	7,6638	5	451,00
4			7,1539	7,5806	5	426,70
5			7,1103	7,5503	5	440,00
1	Stadium 3 bei 32 ‰	12.11.07	7,1604	7,6285	5	468,10
2			7,0737	7,5457	5	472,00
3			7,1375	7,6262	5	488,70
4			7,2171	7,7087	5	491,60
5			7,1216	7,6129	5	491,30
1	Stadium 6 bei 1 ‰	18.11.07	7,3676	8,1660	4	798,40
2			7,3822	8,0414	4	659,20
3			7,1851	8,0124	4	827,30
4			7,1203	7,9463	4	826,00
5			7,3860	8,1477	4	761,70
1	Stadium 6 bei 10 ‰	17.11.07	7,1587	8,2279	4	1069,20
2			7,1664	8,2908	4	1124,40
3			7,1104	8,3581	4	1247,70
4			7,3935	8,5904	4	1196,90
5			7,2164	8,3867	4	1170,30
1	Stadium 6 bei 32 ‰	17.11.07	7,2575	8,4642	4	1206,70
2			7,1881	8,2886	4	1100,50
3			7,1930	8,3047	4	1111,70
4			7,1282	8,2422	4	1114,00
5			7,3551	8,5036	4	1148,50
1	Stadium 9 bei 1 ‰	24.11.07	7,0464	8,0112	3	964,80
2			7,2495	8,1838	3	934,30
3			7,2014	8,2032	3	1001,80

Nummer	Versuch	Datum	Tara [mg]	Tara + TG[mg]	Anzahl	TG [μ g]
4			7,2342	8,4917	3	1257,50
5			7,2971	8,4463	3	1149,20
1	Stadium 9 bei 10 ‰	23.11.07	7,2860	8,9906	3	1704,60
2			7,1760	8,6064	3	1430,40
3			7,0326	8,4799	3	1447,30
4			7,1922	8,7382	3	1546,00
5			7,0160	7,9883	3	972,30
1	Stadium 9 bei 32 ‰	23.11.07	7,1855	9,0004	3	1814,90
2			6,9897	8,3047	3	1315,00
3			7,3337	8,6063	3	1272,60
4			7,3987	8,9093	3	1510,60
5			7,3837	8,9218	3	1538,10

Tabelle III.12: Larvenstadium 3 von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten.

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25		
14.08.2007	Süßwasser	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
15.08.2007		Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
		Notizen	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	
14.08.2007	1	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
		Notizen	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	aV	aV								
16.08.2007		Stadium																					4	4	4	4	4	4	
		Notizen																					aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV
14.08.2007	5	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
		Notizen	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV											
16.08.2007		Stadium																	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
		Notizen																	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV
14.08.2007	15	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
		Notizen	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV										
16.08.2007		Stadium																				4	4	4	4	4	4	4	
		Notizen																				aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV
14.08.2007	20	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3
		Notizen	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV					
16.08.2007		Stadium																						4	4	4	4	4	
		Notizen																							aV	aV	aV	aV	aV
14.08.2007	25	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
		Notizen	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV							
16.08.2007		Stadium																					4	4	4	4	4	4	
		Notizen																						aV	aV	aV	aV	aV	aV
14.08.2007	32	Stadium	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
15.08.2007		Stadium	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
		Notizen	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV						
16.08.2007		Stadium																							4	4	4	4	
		Notizen																								aV	aV	aV	aV

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
27.09.2007		Stadium			8	7	7																					
		Notizen			aV	SP	SP																					
24.09.2007	32	Stadium	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
25.09.2007		Stadium	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
		Notizen	SP	tot																								
26.09.2007		Stadium			7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen			SP				aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV
27.09.2007		Stadium				8	8	7																				
		Notizen				aV	aV	SP																				

Tabelle III.17: Larvenstadium 8 von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten.

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
25.09.2007	Süßwasser	Stadium	8	8	8	8	8	8																				
26.09.2007		Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen	tot	tot	tot	tot	tot	tot																				
27.09.2007		Stadium							8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	
		Notizen							tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot	tot
26.09.2007	1	Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
27.09.2007		Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
28.09.2007		Stadium	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen	Juv	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV																	
29.09.2007		Stadium										8	8	8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	
		Notizen													Juv	Juv	Juv	Juv	Juv	Juv	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV
30.09.2007		Stadium										9	9	9														
		Notizen										Juv	Juv	Juv														
26.09.2007	5	Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
27.09.2007		Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen	SP																									
28.09.2007		Stadium		9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen		Juv	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV	aV										
29.09.2007		Stadium																	8	8	8	9	9	9	9	9	9	
		Notizen																				Juv	Juv	aV	aV	aV	aV	aV
30.09.2007		Stadium																	9	9	9							
		Notizen																		Juv	Juv	Juv						

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
27.09.2007		Stadium	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen	SP	SP	SP																						
28.09.2007		Stadium				8	9	9	9	9	9	9	9	9	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
		Notizen				SP	Juv	Juv	aV	aV	aV	aV	aV	aV											SP		
29.09.2007		Stadium													8	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	8	9
		Notizen													SP	aV	aV	aV	aV	aV	Juv	Juv	Juv	Juv	Juv		aV
30.09.2007		Stadium																								8	
		Notizen																								SP	

Tabelle III.18: Larvenstadium 9 von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten.

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8
04.10.2007	Süßwasser	Stadium	9	9	9	9	9	9		
05.10.2007		Stadium	9	9	9	9	9	9	9	9
		Notizen	tot	tot	tot	tot	tot	tot		
06.10.2007		Stadium							9	9
		Notizen							tot	tot
04.10.2007	1	Stadium	9	9	9	9	9	9		
05.10.2007		Stadium	9	9	9	9	9	9	9	9
		Notizen	SP							
06.10.2007		Stadium		10	9	9	9	9	9	9
		Notizen		aV						
07.10.2007		Stadium			10	10	10	10	10	10
		Notizen			Juv	Juv	Juv	Juv	Juv	Juv
04.10.2007	5	Stadium	9	9	9	9	9	9		
05.10.2007		Stadium	9	9	9	9	9	9	9	9
06.10.2007		Stadium	10	10	10	9	9	9	9	9
		Notizen	aV	aV	aV				SP	
07.10.2007		Stadium				9	10	10		9
		Notizen				SP	Juv	Juv		
08.10.2007		Stadium								10
		Notizen								Juv
04.10.2007	10	Stadium	9	9	9	9	9	9		
05.10.2007		Stadium	9	9	9	9	9	9	9	9
		Notizen	SP							

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3	4	5	6	7	8
		Notizen							Juv	Juv

Tabelle III.19: Stadium Juvenil 1 von *Macrobrachium amazonicum* bei verschiedenen Salinitäten.

Datum	Salinität [‰]	Nummer	1	2	3
05.10.2007	Süßwasser	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
		Notizen	SP		
07.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	
08.10.2007		Stadium	Juv2	Juv2	
		Notizen	aV	aV	
05.10.2007	1	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
07.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
08.10.2007		Stadium	Juv2	Juv2	Juv2
		Notizen	aV	aV	aV
05.10.2007	5	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
07.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
08.10.2007		Stadium	Juv2	Juv2	Juv2
		Notizen	aV	aV	aV
05.10.2007	10	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
07.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
08.10.2007		Stadium	Juv2	Juv2	Juv1
		Notizen	aV	aV	
09.10.2007		Stadium			Juv2
		Notizen			aV
05.10.2007	15	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
07.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
08.10.2007		Stadium	Juv2	Juv2	Juv2
		Notizen	aV	aV	aV
05.10.2007	20	Stadium	Juv1	Juv1	Juv1
06.10.2007		Stadium	Juv1	Juv1	Juv1

Danksagungen

Ich danke Dr. Klaus Anger für die interessante Themenstellung, die kompetente Betreuung mit vielen hilfreichen Ratschlägen und die Verbesserungen in der Arbeit. Mein Dank gilt auch der bereitwilligen Zusage von Prof. Dr. Dietrich Schnack eine externe Diplomarbeit auf Helgoland zu betreuen und seinen Anmerkungen zu den ersten Entwürfen der Arbeit den sowie Hinweisen zur statistischen Auswertung. Ich danke Dr. Thomas Assheuer für die Motivation und der Firma E-nema für die Arbeitsverträge während meines Aufenthalts auf Helgoland. Für die Hilfe bei der Datenauswertung möchte ich mich bei Dr. Fritz Geiger bedanken. Auch für das sorgfältige Korrekturlesen, die aufmunternden Worte und den Zuspruch möchte ich mich bei Hilke Honnens, Heike Fremdt und Anna-Martina Meusburger herzlich bedanken. Ein großer Dank gebührt Axel Rotermond für die Hilfe bei der Formatierung der Arbeit. Auch für die Tipps zur Formulierung einiger Sachverhalte und die Bemühungen, mir in der letzten Phase der Arbeit die Zeit so angenehm wie möglich zu machen. Für die anhaltende Bestätigung und die Erkenntnis, dass es hilfreich sein kann Situationen auch aus einem anderen Blickwinkel zu betrachten möchte ich mich bei meiner Schwester Nikolina Remetin bedanken. Ein herzliches Dankeschön gilt meinen Eltern, Theresia und Davorin Remetin für all die Unterstützung und die anhaltende Motivation.

Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die hier vorgelegte Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Mit der Einstellung dieser Arbeit in die Bibliothek der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel bin ich einverstanden.

Kiel, 27.03.08

Ort, Datum

Remetz

Unterschrift