

Sandra Sevim

**Beurteilung des Wiedererholungs-Potenzials
emergierender Insekten am Beispiel der
Büschelmücke *Chaoborus crystallinus* in
Mesokosmosstudien unter Berücksichtigung
der Populationsstruktur (Metapopulation) und
der Verbreitungsmechanismen**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Beurteilung des Wiedererholungs-Potenzials emergierender Insekten am Beispiel der
Büschelmücke *Chaoborus crystallinus* in Mesokosmosstudien unter Berücksichtigung der
Populationsstruktur (Metapopulation) und der Verbreitungsmechanismen





**Beurteilung des Wiedererholungs-Potenzials emergierender
Insekten am Beispiel der Büschelmücke *Chaoborus
crystallinus* in Mesokosmosstudien unter Berücksichtigung
der Populationsstruktur (Metapopulation) und der
Verbreitungsmechanismen**

Von der Fakultät für Mathematik, Informatik und Naturwissenschaften der RWTH
Aachen University zur Erlangung des akademischen Grades einer Doktorin der
Naturwissenschaften genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Diplom-Biologin
Sandra Sevim, geb. Junge

aus Wesel

Berichter: Universitätsprofessor Dr. Hans Toni Ratte
Universitätsprofessor Dr. Andreas Schäffer

Tag der mündlichen Prüfung: 13.02.2012

„D 82 (Diss. RWTH Aachen 2012)“



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2012

Zugl.: (RWTH) Aachen, Univ., Diss., 2012

978-3-95404-097-1

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2012

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2012

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-95404-097-1



Danksagung

Diese Arbeit ist am Forschungsinstitut für Ökosystemanalyse und -bewertung gaiac e.V., unter Zurverfügungstellung eines Arbeitsplatzes und der Sachmittelfinanzierung, entstanden. Des Weiteren wurde diese Arbeit zeitweise von der Graduiertenförderung zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses von der RWTH Aachen unterstützt.

Mein besonderer Dank gilt dem Leiter der Arbeitsgruppe Aquatische Ökologie und Ökotoxikologie Herrn Prof. Dr. Hans-Toni Ratte, der die Betreuung übernahm und für fachliche Fragestellungen stets ein offenes Ohr hatte. Außerdem bedanke ich mich bei dem Leiter des Lehrstuhls für Umweltbiologie und Chemodynamik Herrn Prof. Dr. Andreas Schäffer, der sich als weiterer Gutachter zur Verfügung gestellt hat. Auch Frau Prof. Dr. Ursula Priefer sei als dritte Berichterin im Rahmen der Promotionsprüfung gedankt. Für die Betreuung am Forschungsinstitut gaiac e.V. möchte ich mich insbesondere bei Frau Dr. Monika Hammers-Wirtz und Herrn Dr. Tido Strauss für die fortwährende fachliche Unterstützung und die kritische Analyse meiner Arbeit bedanken.

Bei den ehemaligen Mitarbeitern Herrn Professor Thomas U. Berendonk und Frau Juliane Dorow vom Institut für Biologie II - AG Molekulare Evolution und Systematik der Tiere der Universität Leipzig möchte ich mich für die Hilfestellung bei den genetischen Analysen bedanken. Auch meinen Kollegen am Lehrstuhl und besonders den Kollegen meiner Arbeitsgruppe bin ich zu großem Dank verpflichtet. Hier möchte insbesondere Birgitta Goffart und Katrin Liedtjens, aber auch Dr. Thomas Preuss, Silke Classen, Silvana Siehoff, Dr. Burkhard Schmidt, Alexander Ruß und allen Studenten, die mich bei der Freilandarbeit unterstützt haben, nennen. Für die Korrektur meiner Dissertation und für andere Hilfestellungen möchte ich gegenüber Helga von Lochow meinen herzlichsten Dank äußern. In diesem Atemzug möchte ich auch Heike Kreutz, Vera Schumacher, Volker & Lotta Hülsmeier, Christiane Gantevoort und Angelika Berger nennen, die mich immer freundschaftlich unterstützt haben.

Ein ganz großer Dank geht an meine Mutter Ingrid Junge, meiner Zwillingsschwester Kerstin Junge, und meiner Großmutter Grethe Fischbach, weil sie mich in meinem Werdegang immer bestärkt haben. Auch bei meinem verstorbenen Vater Helmut Junge möchte ich mich bedanken, weil er immer für mich da war.



Mein größter Dank gilt meinem Mann Agâh und meinem Sohn Anıl, die mich insbesondere mit ihrer Liebe und Geduld auf diesem Weg täglich begleitet haben. Ihnen widme ich diese Arbeit.



Inhaltsverzeichnis

Danksagung	iii
Inhaltsverzeichnis	v
Abbildungsverzeichnis	viii
Tabellenverzeichnis	xvi
Formelverzeichnis	xx
Abkürzungen	xxi
1. Einleitung	1
1.1 Allgemeines zu Mesokosmen	1
1.2 Erste Fragestellung: Wiedererholungspotenzial	3
1.3 Biologie und Ökologie von <i>Chaoborus crystallinus</i>	4
1.4 Eingesetztes Insektizid – Wirkstoff und Anwendung	5
1.5 Zweite Fragestellung: Genetik und Metapopulationskonzept	6
2. Vorversuche	9
2.1 Material und Methoden Vorversuch	9
2.1.1 Vergleich zweier quantitativer Methoden: Emergenzfalle versus Exuvien absammeln	9
2.1.1.1 Probenesign und Modifikation der Emergenzfalle	10
2.1.1.2 Probenahme	12
2.1.2 Akuter Biotest im Labor mit FASTAC (a. i. Alpha-Cypermethrin)	13
2.1.2.1 Herkunft und Vorbereiten der Testorganismen <i>Chaoborus</i> <i>crystallinus</i> und <i>Daphnia magna</i>	13
2.1.2.2 Durchführung der Tests	14
2.1.3 Statistische Auswertung	16
2.2 Ergebnisse Vorversuch	17
2.2.1 Quantifizierung der Emergenz und Exuvien	17
2.2.2 Akuter Biotest im Labor	20
2.2.2.1 <i>Chaoborus crystallinus</i>	20
2.2.2.2 <i>Daphnia magna</i>	24
2.2.2.3 Auswahl der Insektizid-Konzentration für die Mesokosmosstudie	25
3. Mesokosmosstudie	26
3.1 Material und Methoden Mesokosmosstudie	26
3.1.1 Mesokosmosanlage	26
3.1.2 Vorbereiten der Mesokosmosanlage	28
3.1.3 Erste und zweite Applikation mit FASTAC® SC 100	31
3.1.4 Probenesign	32
3.1.5 Probenahme Emergenz	34
3.1.6 Probenahme und Auszählung der Eigelege von <i>Chaoborus crystallinus</i> ...	34
3.1.7 Probenahme und Bestimmung von Zooplankton	35
3.1.7.1 Entwicklungsdauer von <i>Chaoborus crystallinus</i>	36
3.1.7.2 Berechnung der Mortalität	37
3.1.8 Probenahme Phytoplankton	38
3.1.9 Probenahme Chlorophyll a	39
3.1.10 Probenahme abiotische Parameter	39
3.1.11 Genetische Analyse von <i>Chaoborus crystallinus</i>	40



3.1.11.1	Probenahme	40
3.1.11.2	DNA-Isolierung.....	44
3.1.11.3	Amplifizierte Fragmentlängen Polymorphismen (AFLPs).....	45
	Neighbor Nets.....	48
	Genetische Differenzierung der Populationen	49
3.2	Statistische Auswertung	52
3.3	Ergebnisse Mesokosmosstudie.....	54
3.3.1	Nährstoffe, Härte und elektrische Leitfähigkeit.....	54
3.3.2	Wasserstand	55
3.3.3	Chlorophyll	56
3.3.4	Sauerstoffgehalt	58
3.3.5	pH-Wert 60	
3.3.6	Windgeschwindigkeiten	60
3.3.7	Zooplankton als Beute von <i>Chaoborus crystallinus</i>	62
3.3.8	<i>Chaoborus crystallinus</i>	69
3.3.8.1	Emergenz	69
3.3.8.2	Geschlechterverhältnis	72
3.3.8.3	Eigelege und Eianzahl	73
3.3.8.4	Eigelegegröße.....	78
3.3.8.5	Eianzahl pro Gelege	79
3.3.8.6	Eigelege und Eianzahl pro Weibchen	81
3.3.8.7	Larven.....	84
	L1-Larven.....	87
	L2-Larven.....	90
	L3-Larven.....	92
	L4-Larven.....	94
	Puppen	98
	Zusammenfassung Larven	99
3.3.8.8	Berechnete Lebensparameter von <i>Chaoborus crystallinus</i>	99
	Entwicklungsdauer.....	99
	Mortalität und dichteabhängige Mortalität	100
3.3.8.9	Genetische Untersuchungen	105
4.	Diskussion.....	112
4.1	Methodik.....	112
4.2	Akuter Biotest	113
4.3	Mesokosmosstudie.....	117
4.3.1	Auswirkungen von abiotischen und biotischen Begleitfaktoren in der Mesokosmosstudie auf die Populationsentwicklung von <i>Chaoborus crystallinus</i>	117
4.3.2	Unterschiede in der Effektstärke und in der Wiedererholung zwischen den verschiedenen Behandlungsszenarien.....	120
	Larven.....	120
	Emergenz	125
4.3.3	Fekundität der <i>Chaoborus</i> -Weibchen und ihr Einfluss auf die Wiedererholung	127
	Unterschiede in der Wiederbesiedlung durch Tiere aus den benachbarten unbelasteten Kontrollteichen und Immigration von <i>Chaoborus crystallinus</i> aus dem Umland.....	127



4.3.4	Genetische Unterschiede und Verwandtschaftsverhältnisse von Büschelmücken aus der Mesokosmosanlage und aus Kleingewässern im Aachener Westen und der Eifel mit einer Interpretation der potentiellen Flugdistanzen	132
4.4	Fazit und Ausblick	135
5.	Zusammenfassung.....	136
	Summary	138
6.	Literatur.....	142
7.	Anhang.....	153



Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1: Schematische Darstellung einer Emergenzfaller schwimmend auf einem Mesokosmosteich	10
Abbildung 2-2: Schematische Aufsicht auf das Probedesign im Vorversuch (Fallen mit Gaze, Fallen ohne Gaze); Teichnummerierung stammt aus der Mesokosmosstudie aus dem Jahre 2002.....	11
Abbildung 2-3: Anordnung der Emergenzfallen mit und ohne Gaze	12
Abbildung 2-4: Immobilisationstest mit <i>Chaoborus crystallinus</i> und <i>Daphnia magna</i> im Klimaraum bei 20 °C	15
Abbildung 2-5: Mittelwerte, der in den offenen Fallen abgesammelten Exuvien und in den geschlossenen Fallen gefangenen Emergenz mit Standardabweichung, * = signifikantes Ergebnis	17
Abbildung 2-6: Mittelwerte, der in den geschlossenen Fallen am Tonnenrand und -mitte abgesammelten Exuvien und gefangenen Emergenz mit Standardabweichung, * = signifikantes Ergebnis	18
Abbildung 2-7: Relative Exuvien-Anzahl auf der Wasseroberfläche der ExperimentiergefäÙe in Abhängigkeit der Zeit an verschiedenen Standorten (siehe Legende).....	19
Abbildung 2-8: Anteil mobiler <i>Chaoborus crystallinus</i> -Larven während der Dauer des Experimentes	21
Abbildung 2-9: Grafische Übersicht über den Anteil Überlebender von <i>Chaoborus crystallinus</i> während der Dauer des Experimentes	22
Abbildung 2-10: Verpuppungserfolg von <i>Chaoborus crystallinus</i> während der Dauer des Experimentes (Konzentration 0,125 µg/ L ist verdeckt durch 0,500 µg/L)	23
Abbildung 2-11: Anteil geschlüpfter <i>Chaoborus crystallinus</i> - Individuen während der Dauer des Experimentes.....	23
Abbildung 2-12: Anteil toter Daphnien während der Dauer des Experimentes.....	25
Abbildung 3-1: Schematische Aufsicht auf das Forschungsinstitut gaiac e.V. mit Außengelände und Mesokosmosanlage	27
Abbildung 3-2: Luftbildaufnahme vom Forschungsinstitut gaiac e. V. mit Außengelände und Mesokosmosanlage	27
Abbildung 3-3: Schematische Seitenansicht eines Mesokosmosteiches mit 2 m Durchmesser wie sie am Forschungsinstitut gaiac e.V. verwendet werden	28
Abbildung 3-4: Schematische Seitenansicht eines Mesokosmosteiches mit 2,20 m Durchmesser wie sie am Forschungsinstitut gaiac e.V. verwendet werden	28
Abbildung 3-5: Mesokosmosteiche mit Verbindungsschläuchen zum Umpumpen	30
Abbildung 3-6: Überlauf mit Trichter und Verbindungsrohr zu den tiefer gelegenen Teichen	30



Abbildung 3-7: Mesokosmosteiche verbunden mit einem Gartenschlauch. In der tiefer gelegenen Tonne (hinten links) ist eine Wasserpumpe installiert, um entgegen dem Gefälle das Wasser zu dem höher gelegenen Teich (vorne rechts) zu transportieren	30
Abbildung 3-8: Aufsicht auf die Mesokosmosteiche mit Verbindungsschläuchen zum Umpumpen (Mesokosmosteich, Verbindungsschläuche, Verbindungsrohr, Gartenschlauch, Pumpe, Überlauftrichter, Fließrichtung)	30
Abbildung 3-9: Schematische Aufsicht auf das experimentelle Design	33
Abbildung 3-10: Aufsicht auf die Mesokosmosanlage nach der Netzinstallation (Süd-Westansicht)	33
Abbildung 3-11: Fangprinzip im Behälter der Emergenzfalle (roter Pfeil zeigt die Flugrichtung der emergenten Insekten)	34
Abbildung 3-12: Abgesammelte Eigelege in einem Glasgefäß mit Nummerierung am Glasboden.....	35
Abbildung 3-13: Styrodur®-Floß (unten offen) mit Gaze bespannt für abgesammelte Eigelege	35
Abbildung 3-14: Ausschnitt aus dem Aachener Stadtplan mit Teichen aus dem genetische Proben entnommen wurden.....	42
Abbildung 3-15: Ausschnitt aus der Umgebung von Aachen und einer Markierung des Mützenicher Palsens.....	43
Abbildung 3-16: Digital erzeugtes Bild von einem Polyacrylamidgels mit fluoreszenzmarkierten Banden der Primerkombination MseAGG – Eco700AAG ...	47
Abbildung 3-17: Wasserstände in allen Mesokosmosteichen (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung, T = Teich)	56
Abbildung 3-18: Chlorophyll-Werte für sämtliche Mesokosmosteiche in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien (blau = Kontrolle, rot/ schwarz = Behandlung).....	57
Abbildung 3-19: Durchschnittlicher Bedeckungsgrad von Fadenalgen auf der Wasseroberfläche (EN = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung)	57
Abbildung 3-20: Sauerstoffkonzentrationen (Mittelwerte) in den Einzelnetzen (a), in den 6er-Netzen (b) und in den offenen Teichen (c) in 0,2 m und 0,9 m Wassertiefe (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung).....	59
Abbildung 3-21: pH-Werte (Mittelwerte) in den Einzelnetzen (a), in den 6er-Netzen (b) und in den offenen Teichen (c) in 0,2 m und 0,9 m Wassertiefe (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung).....	61
Abbildung 3-22: Mittlere Abundanzen der zooplanktischen Crustacea in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien in Woche drei	63
Abbildung 3-23: Mittlere Abundanzen des Taxon Rotatoria in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien in Woche drei.....	64



Abbildung 3-24: Mittlere Abundanz sämtlicher zooplanktischer Organismen (zusammengefasst ohne Dipteren-Larven) unterteilt in verschiedene Größenklassen in Woche drei	65
Abbildung 3-25: Mittlere Abundanzen der zooplanktischen Crustacea in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien in Woche acht.....	66
Abbildung 3-26: Mittlere Abundanzen des Taxon Rotatoria in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien in Woche acht	67
Abbildung 3-27: Mittlere Abundanz sämtlicher zooplanktischen Organismen (zusammengefasst ohne Dipteren-Larven) unterteilt in verschiedene Größenklassen in Woche acht	68
Abbildung 3-28: Emergenz von <i>Chaoborus crystallinus</i> in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, Kontrollteiche sind mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Min = Minimum, Max = Maximum, K = Kontrolle, B = Behandlung, Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er Netz, offen = offene Teiche)	70
Abbildung 3-29: Männchen-Weibchen-Verhältnis von <i>Chaoborus crystallinus</i> , schwarzer Balken = Hilfslinie für ein theoretisches 1 : 1 Verhältnis.....	73
Abbildung 3-30: Mittlere wöchentliche Eigelegeanzahl in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, die Werte der ersten Woche beruhen auf eine Zählung, Werte der Kontrollteiche sind mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Min = Minimum, Max = Maximum, K = Kontrolle, B = Behandlung, Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er Netz, offen = offene Teiche)	74
Abbildung 3-31: Mittlere wöchentliche Eianzahl in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, weitere Erläuterungen siehe Abbildung 3-30).....	75
Abbildung 3-32: Korrelation zwischen gemessener Eigelegegröße und ausgezählter Eianzahl pro Gelege vom 07.07.2005 (13 Teiche)	78
Abbildung 3-33: Häufigkeitsverteilung der Eigelegeklassen (blaue Linie) und polynomische Regressionsgerade sechster Ordnung (schwarze Linie)	78
Abbildung 3-34: Relative Werte der Eigelege-Gesamtsummen innerhalb des Experimentzeitraumes in den fünf Behandlungsszenarien	79
Abbildung 3-35: Durchschnittliche Eianzahl pro Gelege für die fünf verschiedenen Behandlungsszenarien (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, K = Kontrolle, B = Behandlung)	80
Abbildung 3-36: Mittlere Eigelegeanzahl pro Weibchen in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien (die graue Linie gibt ein theoretisches Eigelege-Weibchen-Verhältnis von 1:1 wieder)	82
Abbildung 3-37: Mittlere Eianzahl pro Weibchen in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien mit Angabe der durchschnittlichen Eianzahl pro Gelege für alle Teiche (die graue Linie gibt die durchschnittliche Eianzahl pro Weibchen wieder, n = 167 Eier)	83
Abbildung 3-38: Prozentualer Anteil der verschiedenen Larvenstadien in den fünf Behandlungsszenarien während des gesamten Untersuchungszeitraumes (K= Kontrolle, B= Behandlung, L1- bis L4-Larvenstadien)	84



Abbildung 3-39: Mittlere wöchentliche Abundanz aller Larvenstadien in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, Werte der Kontrollteiche sind mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Min = Minimum, Max = Maximum, K = Kontrolle, B = Behandlung, Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er Netz, offen = offene Teiche)	86
Abbildung 3-40: Mittlere wöchentliche L1-Larvenabundanzen in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, Werte der Kontrollteiche mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Erläuterung der Legende siehe Abbildung 3-39)	89
Abbildung 3-41: Mittlere wöchentliche L2-Larvenabundanzen in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, Werte der Kontrollteiche mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Erläuterung der Legende siehe Abbildung 3-39)	90
Abbildung 3-42: Mittlere wöchentliche L3-Larvenabundanzen in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, Werte der Kontrollteiche mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Erläuterung der Legende siehe Abbildung 3-39)	93
Abbildung 3-43: Abundanz der L4-Larven von <i>Chaoborus crystallinus</i> dargestellt auf einer Zeitachse (Einzel = Einzelnetz, K = Kontrolle, B = Behandlung) ..	95
Abbildung 3-44: Abundanz der Puppen von <i>Chaoborus crystallinus</i> dargestellt auf einer Zeitachse (Einzel = Einzelnetz, K = Kontrolle, B = Behandlung)	98
Abbildung 3-45: Grafische Darstellung der Entwicklungsdauer (Entwicklung) von <i>Chaoborus crystallinus</i> in Abhängigkeit der Lichtzeit (Licht) und Temperatur (Temp.)	100
Abbildung 3-46: Relative Mortalität [%] von <i>C. crystallinus</i> für die fünf verschiedenen Behandlungsszenarien (Mittelwerte), Kontrollen mit Variabilitätsspannweiten dargestellt (Min= Minimum, Max = Maximum, K = Kontrolle, B = Behandlung)	101
Abbildung 3-47: Gesamt-Eianzahl und Gesamtindividuenanzahl der verschiedenen Larvenstadien von <i>Chaoborus crystallinus</i> (L1 bis L4) in den fünf verschiedenen Behandlungsszenarien (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er Netz, K = Kontrolle, B = Behandlung)	102
Abbildung 3-48: Korrelation zwischen aufsummierter Eianzahl und relativer Mortalität	103
Abbildung 3-49: Korrelation zwischen aufsummierter Eigelegeanzahl und relativer Mortalität	103
Abbildung 3-50: Korrelation der Gesamt-Larvenabundanz (Mittelwert) und relativer Mortalität	103
Abbildung 3-51: Korrelation der L1-Larvenabundanz (Mittelwert) und relativer Mortalität	103
Abbildung 3-52: Korrelation der L2-Larvenabundanz (Mittelwert) und relativer Mortalität	104
Abbildung 3-53: Korrelation der L3- Larvenabundanz (Mittelwert) und relativer Mortalität	104



Abbildung 3-54: Korrelation der L4- Larvenabundanz (Mittelwert) und relativer Mortalität	104
Abbildung 3-55: Neighbor Net der verschiedenen <i>C. crystallinus</i> -Populationen, erstellt im SplitsTree4 nach der Equal Angle Methode, Maßstab stellt die unkorrigierte p-Distanz dar	107
Abbildung 4-1: Theoretische Abbaukinetik von Alpha-Cypermethrin in dieser Studie und Angabe der NOEC aus der Literatur	123
Abbildung 4-2: Geschätzter oberflächiger Bedeckungsgrad von makroskopisch sichtbaren Pflanzen (<i>Lemna</i> sp. und Fadenalgen) an der Wasseroberfläche der Mesokosmen (Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, K = Kontrolle, B = Behandlung, Zahlen 1 – 13 = Teichnummerierung)	131
Anhang 7-1: Emergenz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B = Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	153
Anhang 7-2: Emergenz im 6er-Netz (K = Kontrolle, B = Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	154
Anhang 7-3: Emergenz in den offenen Teichen (Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	154
Anhang 7-4: Eianzahl in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B = Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	158
Anhang 7-5: Eianzahl in dem 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-5)..	158
Anhang 7-6: Eianzahl in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-5)	158
Anhang 7-7: Eigelege in den Einzelnetzen (K= Kontrolle, B = Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	161
Anhang 7-8: Eigelege in den 6er-Netzen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-7)	161
Anhang 7-9: Eigelege in den offene Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-7)	161
Anhang 7-10: Durchschnittliche Eianzahl pro Gelege in den Einzelnetzen (blau = Kontrolle, rot = Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	167
Anhang 7-11: Eianzahl pro Gelege im 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-10)	167
Anhang 7-12: Durchschnittliche Eianzahl pro Gelege in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-10)	167
Anhang 7-13: Gesamt-Larvenabundanz Einzelnetze (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	168
Anhang 7-14: Gesamt-Larvenabundanz 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-13)	168
Anhang 7-15: Gesamt-Larvenabundanz in den offene Teichen Legendenerläuterung siehe Anhang 7-13)	168
Anhang 7-16: L1-Larvenabundanz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	169



Anhang 7-17:	L1-Larvenabundanz im 6er-Netz (K = Kontrolle, B= Behandlung, Legendenerläuterung siehe Anhang 7-16).....	169
Anhang 7-18:	L1-Larvenabundanz in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-16)	169
Anhang 7-19:	L2-Larvenabundanz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	170
Anhang 7-20:	L2-Larvenabundanz im 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-19).....	170
Anhang 7-21:	L2-Larvenabundanz in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-19)	170
Anhang 7-22:	L3-Larvenabundanz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	171
Anhang 7-23:	L3-Larvenabundanz im 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-22).....	171
Anhang 7-24:	L3-Larvenabundanz in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-22)	171
Anhang 7-25:	L4-Larvenabundanz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	172
Anhang 7-26:	L4-Larvenabundanz im 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-25).....	172
Anhang 7-27:	L4-Larvenabundanz in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-25)	172
Anhang 7-28:	Puppenabundanz in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B= Behandlung, Zahlen in der Legende = Teichnummerierung)	173
Anhang 7-29:	Puppenabundanz im 6er-Netz (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-28).....	173
Anhang 7-30:	Puppenabundanz in den offenen Teichen (Legendenerläuterung siehe Anhang 7-28)	173
Anhang 7-31:	Größenverteilung der Körpergröße von <i>Daphnia magna</i> in Woche drei	176
Anhang 7-32:	Größenverteilung der Körpergröße von der Gruppe <i>Daphnia pulex/ longispina</i> in Woche drei	176
Anhang 7-33:	Größenverteilung der Körpergröße von <i>Chydorus</i> sp. in Woche drei .	176
Anhang 7-34:	Größenverteilung der Körpergröße der Nauplien in Woche drei.....	177
Anhang 7-35:	Größenverteilung der Körpergröße von cyclopoiden Copepoden in Woche drei.....	177
Anhang 7-36:	Abundanz sämtlicher zooplanktischer Organismen (zusammengefasst ohne Dipteren-Larven) unterteilt in verschiedene Größenklassen in Woche drei.....	178
Anhang 7-37:	Größenverteilung der Körpergröße von <i>Daphnia magna</i> in Woche 8.	178
Anhang 7-38:	Größenverteilung der Körpergröße von <i>Daphnia pulex/ longispina</i> in Woche 8.....	178



Anhang 7-39:	Größenverteilung der Körpergröße von <i>Chydorus</i> sp. in Woche 8	179
Anhang 7-40:	Größenverteilung der Körpergröße der Nauplien in Woche 8.....	179
Anhang 7-41:	Größenverteilung der Körpergröße von cyclopoiden Copepoden in Woche 8.....	179
Anhang 7-42:	Abundanz sämtlicher zooplanktischer Organismen (zusammengefasst ohne Dipteren-Larven) unterteilt in verschiedene Größenklassen in Woche acht	180
Anhang 7-43:	Berechnete relative Mortalität [%] von <i>C. crystallinus</i> für alle Teiche mit Einzelnetz (K = Kontrolle, B = Behandlung)	180
Anhang 7-44:	Berechnete relative Mortalität [%] von <i>C. crystallinus</i> für alle Teiche mit 6er-Netz (K = Kontrolle, B = Behandlung)	181
Anhang 7-45:	Berechnete relative Mortalität [%] von <i>C. crystallinus</i> für alle offenen Teiche (K = Kontrolle, B = Behandlung)	181
Anhang 7-46:	Chlorophyll a-Werte für Mesokosmen in den Einzelnetzen (K = Kontrolle, B = Behandlung)	182
Anhang 7-47:	Chlorophyll-Werte für Mesokosmen im 6er-Netz (K = Kontrolle, B = Behandlung).....	182
Anhang 7-48:	Chlorophyll-Werte für Mesokosmen in den offenen Teichen (K = Kontrolle, B = Behandlung)	183
Anhang 7-49:	Sauerstoffkonzentrationen in der Einzelnetz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle)	183
Anhang 7-50:	Sauerstoffkonzentrationen in der Einzelnetz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung).....	184
Anhang 7-51:	Sauerstoffkonzentrationen in der 6er-Netz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle)	184
Anhang 7-52:	Sauerstoffkonzentrationen in der 6er-Netz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	185
Anhang 7-53:	Sauerstoffkonzentrationen in den offenen Teichen in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	185
Anhang 7-54:	Härtebereich des Wassers in den Einzelnetzen (Nummern in Legende entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle, B = Behandlung)	186
Anhang 7-55:	Härtebereich des Wassers in den 6er-Netzen (Nummern in Legende entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle, B = Behandlung)	186
Anhang 7-56:	Härtebereich des Wassers in den offenen Teichen (Nummern in Legende entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	187



Anhang 7-57:	pH-Wert in der Einzelnetz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle).....	187
Anhang 7-58:	pH-Wert in der Einzelnetz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung).....	188
Anhang 7-59:	pH-Wert in der 6er-Netz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle).....	188
Anhang 7-60:	pH-Wert in der 6er-Netz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung).....	189
Anhang 7-61:	pH-Wert in den offenen Teichen in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	189
Anhang 7-62:	Elektrische Leitfähigkeit in der Einzelnetz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle)	190
Anhang 7-63:	Elektrische Leitfähigkeit in der Einzelnetz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	190
Anhang 7-64:	Elektrische Leitfähigkeit in der 6er-Netz-Kontrolle in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, K = Kontrolle)	191
Anhang 7-65:	Elektrische Leitfähigkeit in der 6er-Netz-Behandlung in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	191
Anhang 7-66:	Elektrische Leitfähigkeit in den offenen Teichen in 0,2 m (durchgezogene Linie) und 0,9 m (gestrichelte Linie) Wassertiefe (Nummern in Klammern entsprechen Teichnummerierung, B = Behandlung)	192



Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	Letale Konzentrationen und Effektkonzentrationen für <i>Chaoborus crystallinus</i> (VB = obere bzw. untere Grenze des 95 prozentigen Vertrauensbereichs, x = zu dem Zeitpunkt noch nicht messbar, grau markierte Kästchen = Werte konnten nicht berechnet werden und wurden nur anhand der sigmoiden Dosis-Wirkungs-Kurve abgelesen, Werte waren höher als die höchste eingesetzte Konzentration, n. b. = nicht berechnet)	24
Tabelle 2-2:	Letale Konzentrationen und Effektkonzentrationen für <i>Daphnia magna</i> (Erläuterungen siehe Tabelle 2-1).....	25
Tabelle 3-1:	Übersicht über die chronologische Abfolge der Animpfereignisse.....	29
Tabelle 3-2:	Herkunft und Anzahl der <i>Chaoborus crystallinus</i> -Individuen für die genetische Analyse	44
Tabelle 3-3:	Berechnung der Allelfrequenzen	50
Tabelle 3-4:	Mittelwerte der Nährstoffkonzentrationen, Wasserhärte und elektrische Leitfähigkeit in den Mesokosmosteichen an verschiedenen Terminen .	55
Tabelle 3-5:	Variationskoeffizienten mit Standardabweichung für die Emergenz aus der vorliegenden Mesokosmosstudie und Kontrollen aus älteren Mesokosmosstudien (K = Kontrolle, B = Behandlung).....	69
Tabelle 3-6:	Emergenz-Mittelwerte mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben (ungleiche/gleicher Index-Buchstabe = signifikante/keine signifikanten Unterschiede zwischen den Teichsystemen, schwarzer Kasten= signifikant weniger Abundanz, dick umrahmter Kasten = signifikant mehr Abundanz).....	72
Tabelle 3-7:	Männchen-Weibchen-Verhältnis aus der Gesamtemergenz berechnet	73
Tabelle 3-8:	Eigelege-Mittelwerte mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungs-szenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6)	76
Tabelle 3-9:	Eianzahl-Mittelwerte mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6)	77
Tabelle 3-10:	Mittlere Eigelegeanzahl pro Weibchen für die fünf verschiedenen Behandlungsszenarien für den Gesamtzeitraum	83
Tabelle 3-11:	Variationskoeffizienten und Standardabweichung für die Larvenabundanz aus der vorliegenden Mesokosmosstudie und Kontrollen aus älteren Mesokosmosstudien (K = Kontrolle, B = Behandlung)	85
Tabelle 3-12:	Abundanz-Mittelwerte sämtlicher <i>Chaoborus crystallinus</i> -Larven mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben und signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6)	87



Tabelle 3-13:	Abundanz-Mittelwerte sämtlicher L1-Larven von <i>Chaoborus crystallinus</i> mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben und signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6).....	89
Tabelle 3-14:	Abundanz-Mittelwerte sämtlicher L2-Larven von <i>Chaoborus crystallinus</i> mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben und signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6).....	91
Tabelle 3-15:	Abundanz-Mittelwerte sämtlicher L3-Larven von <i>Chaoborus crystallinus</i> mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, es sind Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben und signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6).....	94
Tabelle 3-16:	Abundanz-Mittelwerte sämtlicher L4-Larven von <i>Chaoborus crystallinus</i> mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, desweiteren auch Indices der t-Test-Ergebnisse angegeben, signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (Tabellenerläuterung siehe Tabelle 3-6).....	97
Tabelle 3-17:	Relative Mortalität [%] von <i>C. crystallinus</i> mit Standardabweichung der fünf verschiedenen Behandlungsszenarien, zusätzlich mit Indices der t-Test-Ergebnisse, signifikante Ergebnisse farblich hervorgehoben (ungleiche/ gleicher Index-Buchstabe = signifikante/ keine signifikanten Unterschiede zwischen den Teichsystemen, dick umrandeter Kasten = signifikant weniger Mortalität, schwarzer Kasten = signifikant mehr Mortalität)	101
Tabelle 3-18:	Populationsgenetische Parameter: Anzahl Allele (N), Anzahl unterschiedlicher Allele (Na), Anzahl effektiver Allele (Ne), Shannon Index (I), erwartete Heterozygotität (He), beobachtete Heterozygotität (UHe), relativer Anteil polymorpher Loci und Anzahl Banden und Anzahl eigener Banden im Polyacrylamidgel (aus DOROW 2009), dick umrahmte Werte = niedrigere Werte im Vergleich zu den anderen Populationen	109
Tabelle 3-19:	Mittelwerte der paarweise Distanz erstellt mit Arlequin V3 (hohe Werte grau hervorgehoben).....	110
Tabelle 3-20:	Einteilung der Probenteiche zu ihrem zugehörigen Cluster nach der SplitsTree4-Analyse und Übersicht über die ermittelten genetischen Parameter und ökologischen Randbedingungen (+ = mehr, - = weniger, * = die Hälfte der Mesokosmosteiche wurde jährlich Neubefüllt, die andere Hälfte nicht), mit einem schwarzen Kasten sind Population hervorgehoben, die eine erhöhte Diversität oder eine höhere genetische Distanz aufwiesen	111
Tabelle 4-1:	Letale Konzentrationen und Effektkonzentrationen von <i>Chaoborus</i> -Larven und Cladoceren im Vergleich mit Literaturdaten (k. A. = keine Angabe, T. = Tage, Imm. = Immobilität, A. m. E. = Adulte mit Eier, Biom. = Biomonitoring, Std. = Stunden)	116



Tabelle 7-1:	Rohdaten Emergenz (offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung).....	153
Tabelle 7-2:	Wahrscheinlichkeitswerte(p-Werte) nach Durchführung eines t-Testes mit Emergenz, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (offen= offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung, schwarzer Kasten = signifikant, fette Schrift = Tendenz => $0,05 < p < 0,1$; n.b. = nicht berechnet)	155
Tabelle 7-3:	Rohdaten Eianzahl (offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung).....	156
Tabelle 7-4:	Rohdaten Eigelege (offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung).....	159
Tabelle 7-5:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit Eianzahl, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung, schwarz = signifikant, fette Schrift = Tendenz => $0,05 < p < 0,1$; n.b. = nicht berechnet).....	162
Tabelle 7-6:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit Eigelegen, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	162
Tabelle 7-7:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit allen Larvenstadien, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	162
Tabelle 7-8:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit L1-Larven, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	163
Tabelle 7-9:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit L2-Larven, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	163
Tabelle 7-10:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit L3-Larven, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	163
Tabelle 7-11:	Wahrscheinlichkeitswerte (p-Werte) nach Durchführung eines t-Tests mit L4-Larven, die mit dem natürlichen Logarithmus transformiert wurden (Erläuterungen zur Tabelle siehe Tabelle 7-5)	164
Tabelle 7-12:	Eianzahlklassen von <i>Chaoborus crystallinus</i> mit der berechneten Häufigkeit der Eianzahlklassen und der polynomischen Konstanten für eine polynomische Regressionsgerade 6. Ordnung zur Ermittlung des Wendepunktes	165
Tabelle 7-13:	Rohdaten der ausgemessenen Eigelege und der dazugehörigen ausgezählten Eianzahl vom 07.07.2005 zur Berechnung einer Regressionsgeraden.....	166
Tabelle 7-14:	Zooplankton-Rohdaten für die dritte Woche, Angaben in Individuen pro Liter, Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung, ? = Bestimmung nicht eindeutig)	174



Tabelle 7-15:	Zooplankton-Rohdaten für Woche acht (Angaben in Individuen pro Liter, Einzel = Einzelnetz, 6er = 6er-Netz, offen = offene Teiche, K = Kontrolle, B = Behandlung, ? = Bestimmung nicht eindeutig)	175
Tabelle 7-16:	Wahrscheinlichkeitswerte (p -Werte) für die relative Mortalität (Ln-transformiert) nach Durchführung eines t-Tests (grau = signifikant) ...	181
Tabelle 7-17:	Matrix für die Mittelwerte der paarweisen Distanz errechnet mit Arlequin V3 (* = signifikant, $p \leq 0,05$), graue Kästchen/diagonal = innerhalb der Population, weiße Kästchen = zwischen den Populationen	192
Tabelle 7-18:	Rohdaten der Nährstoffkonzentrationen, Wasserhärte und Leitfähigkeit für die fünf verschiedenen Behandlungsszenarien	193
Tabelle 7-19:	Venn-Population, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	194
Tabelle 7-20:	Golfplatz-Population, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	195
Tabelle 7-21:	Melaten-Population, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	196
Tabelle 7-22:	Population der Mesokosmosanlage am Institut/ 6er-Netz-Kontrolle, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	197
Tabelle 7-23:	Population der Mesokosmosanlage am Institut/ 6er-Netz-Behandlung, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	198
Tabelle 7-24:	Population der Mesokosmosanlage am Institut/ Einzelnetz-Behandlung, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	199
Tabelle 7-25:	Population der Mesokosmosanlage am Institut/ Einzelnetz-Kontrolle, Anzahl der gezählten Banden (= 1) auf dem Polyacrylamidgel mit Angabe der Primerkombination.....	200



Formelverzeichnis

Formel 1-1:	Nomenklatur und chemische Strukturformel von zwei Isomeren der organischen Verbindung Alpha-Cypermethrin, welches als Insektizid eingesetzt wird	6
Formel 3-1:	Berechnung der Eigelege pro Weibchen.....	35
Formel 3-2:	Berechnung der Entwicklungsdauer von <i>Chaoborus crystallinus</i> (aus RATTE unveröffentlicht).....	37
Formel 3-3:	Berechnung der Mortalität von <i>Chaoborus crystallinus</i> (T = Zeit, z.B. T ₀ = Woche 0).....	38
Formel 3-4:	Berechnung der Häufigkeit des Allels A.....	49
Formel 3-5:	Hardy-Weinberg-Gleichgewicht	50
Formel 3-6:	Berechnungen für die Anzahl effektiver Allele (N _e), Shannons Informationsindex (I) und die Heterozygotität (h, u _h) (p, q = Allelfrequenzen, N = Populationsgröße)	52
Formel 3-7:	Transformation mit dem natürlichen Logarithmus für Abundanzen (x) < 1/n/ L (nach VAN DEN BRINK ET AL. 1995).....	52
Formel 3-8:	Transformation mit dem natürlichen Logarithmus für Abundanzen (x) > 1/n/ L (nach VAN DEN BRINK ET AL. 1995).....	52