

AUS DEM INSTITUT FÜR PARASITOLOGIE UND TROPENVETERINÄRMEDIZIN DES  
FACHBEREICHS VETERINÄRMEDIZIN DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

# Häufigkeit von *Ixodes ricinus* Zecken und Prävalenz von humanpathogenen Lyme Borrelien

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines  
Doktors der Veterinärmedizin  
an der  
Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
**Alina Debski**  
Tierärztin aus Rostock

Berlin 2017  
Journal-Nr.: 3969



AUS DEM INSTITUT FÜR PARASITOLOGIE UND TROPENVETERINÄRMEDIZIN DES  
FACHBEREICHS VETERINÄRMEDIZIN DER FREIEN UNIVERSITÄT BERLIN

# Häufigkeit von *Ixodes ricinus* Zecken und Prävalenz von humanpathogenen Lyme Borrelien

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des  
Grades eines Doktors der Veterinärmedizin an  
der Freien Universität Berlin

vorgelegt von Alina Debski  
Tierärztin aus Rostock

Berlin 2017

Journal-Nr.: 3969

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Jürgen Zentek  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Georg von Samson-Himmelstjerna  
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Franz-Rainer Matuschka  
Dritter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. Boris Schröder-Esselbach

*Deskriptoren (nach CAB-Thesaurus):*

*Ixodes ricinus; Borrelia burgdorferi; Lyme disease; prevalence; nymphs; adults; polymerase chain reaction; pulsed field electrophoresis; Berlin*

Tag der Promotion: 06.12.2017

Bibliografische Information der *Deutschen Nationalbibliothek*

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

ISBN: 978-3-86387-873-3

**Zugl.: Berlin, Freie Univ., Diss., 2017**

Dissertation, Freie Universität Berlin

**D 188**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches, oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen, usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

This document is protected by copyright law.

No part of this document may be reproduced in any form by any means without prior written authorization of the publisher.

Alle Rechte vorbehalten | all rights reserved

© Mensch und Buch Verlag 2018

Choriner Str. 85 - 10119 Berlin

verlag@menschundbuch.de – [www.menschundbuch.de](http://www.menschundbuch.de)

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis und Symbole .....	VI
Glossar .....	VIII
Tabellenverzeichnis.....	VIII
Abbildungsverzeichnis.....	XI
1 Einleitung .....	1
1.1 Einbettung der Arbeit in MILIEU .....	2
1.2 Lyme-Borreliose Überblick.....	2
1.3 Symptome Borrelieninfektion .....	3
1.3.1 Meldepflicht und Inzidenzen .....	4
1.4 <i>Ixodes ricinus</i> als Vektor und seine Vektorkompetenz .....	5
1.4.1 Erregerzyklus.....	5
1.4.2 Saisonale Aktivität .....	7
1.4.3 Vektorkompetenz und Vektorkapazität .....	8
1.5 Lyme-Spirochäten und Wirtsassoziation.....	8
1.6 Wirte.....	9
1.6.1 Reservoirkompetenz.....	10
1.6.2 Reservoirkapazität .....	10
1.6.3 Zooprohylaxe .....	10
1.7 Zielstellung.....	11
2 Material und Methoden .....	13
2.1 Methoden .....	13
2.1.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete .....	13
2.1.2 Standortcharakterisierung.....	14
2.1.3 Sammelmethode.....	19
2.2 Material .....	20
2.2.1 Zecken ( <i>I. ricinus</i> ).....	20

2.2.2	Chemikalien .....	21
2.2.3	Lösungen .....	22
2.2.4	Primer Übersicht .....	22
2.2.5	Kits .....	22
2.2.6	Geräte .....	23
2.3	Labor/molekularbiologische Methoden .....	23
2.3.1	DNS Extraktion .....	23
2.3.2	PCR .....	25
2.3.3	Agarose-Gelelektrophorese .....	26
2.3.4	PCR-Produktaufreinigung für Sequenzierung .....	26
2.3.5	Sequenzreaktion .....	27
2.3.6	Elektrophorese der Sequenzprodukte .....	28
2.3.7	Sequenzauswertung .....	28
2.4	Statistik .....	29
2.4.1	Grafiken .....	29
2.4.2	Normierte Dichten .....	29
2.4.3	Relative Anteile .....	30
2.4.4	Dichtevergleich für Mikro- & Makro- und Nano-Bereiche .....	31
2.4.5	Nano SaTScan™-Analyse .....	35
2.4.6	Borrelien Prävalenz .....	35
2.4.7	Berechnung der Konfidenzintervalle .....	36
2.4.8	Vergleich Genospeziesverteilung .....	39
2.4.9	Theoretisches Expositionsrisikos ( $E_t$ ) .....	40
3	Ergebnisse .....	42
3.1	Allgemeine Beschreibung Mikro- und Makrotransekte .....	42
3.2	Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte .....	43
3.2.1	Zeckenaktivität im Jahresvergleich aller drei Standorte (zeitliche Betrachtung ohne Raum) .....	43
3.2.2	Zeckenaktivität im Standortvergleich über drei Jahre (räumliche Betrachtung ohne Zeitfaktor) .....	44

3.2.3	Vergleich der Zeckenaktivität zwischen den Jahren der einzelnen Standorte (Zeitliche Betrachtung, ist ortsabhängig) .....	45
3.3	Saisonale Zeckenaktivität für Mikro- und Makro-Transekte .....	47
3.3.1	Gatow Jahresübersicht für Zeckenaktivität .....	47
3.3.2	Tegel Jahresübersicht für Zeckenaktivität .....	48
3.3.3	Wannsee Jahresübersicht für Zeckenaktivität .....	50
3.4	Räumliche Betrachtung .....	52
3.4.1	Streckenvergleich im Jahr und Standort .....	52
3.4.2	Streckenvergleich alle Jahre zusammen – räumliche Standort-Heterogenität in der Zeckenaktivität .....	61
3.5	Zeckenaktivität für Nano .....	63
3.5.1	Zeckenaktivität im Standortvergleich über drei Jahre (räumliche Betrachtung ohne Zeitfaktor) .....	64
3.5.2	Vergleich der Zeckenaktivität zwischen den Jahren der beiden Standorte (Zeitliche Betrachtung, ist ortsabhängig) .....	65
3.6	Räumliche Betrachtung Nano: SaTScan™ Ergebnisse .....	65
3.6.1	Gatow .....	66
3.6.2	Tegel .....	68
3.7	Prävalenzen und Genospeziesverteilung .....	70
3.7.1	Voruntersuchung .....	70
3.7.2	Gesamtprävalenzvergleich zwischen den Standorten und im Standort .....	71
3.7.3	Genospeziesverteilung .....	74
3.7.4	Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) .....	77
3.8	Theoretisches Expositionsrisiko .....	79
4	Teil IV Diskussion .....	82
4.1	Sammelmethode – Flaggen .....	82
4.2	Zeckenaktivität .....	82
4.2.1	Standort- und Jahresvergleiche .....	82
4.2.2	Saisonale Zeckenaktivität .....	84
4.2.3	Räumliche Betrachtung der Zeckenverteilung .....	87

4.2.4	Nano SaTScan™-Analyse.....	90
4.3	Prävalenz – Genospezies – Expositionsrisiko .....	91
4.3.1	Gesamtprävalenz (P) und Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ).....	91
4.3.2	Genospezies.....	92
4.3.3	Theoretisches Expositionsrisiko ( $E_t$ ).....	94
4.4	Präventionsstrategien .....	96
4.4.1	Impfung.....	96
4.4.2	Zeckenreduktion – Wirtstierreduktion .....	96
4.4.3	Landschaftsplanung: Überlegungen für das Anlegen von Gärten und Grünflächen .....	97
4.4.4	Risikokarten .....	97
4.4.5	Informationskampagnen .....	98
4.5	Fazit und Ausblick.....	99
5	Zusammenfassung.....	100
	Häufigkeit von <i>Ixodes ricinus</i> Zecken und Prävalenz von humanpathogenen Lyme Borrelien .....	100
6	Summary.....	103
	Abundance of <i>Ixodes ricinus</i> and the prevalence of Lyme disease spirochetes pathogenic to humans .....	103
7	Literaturverzeichnis .....	106
8	Anhang.....	120
8.1	Tabellen für die Transekt-Beschreibung (Strecken) .....	120
8.1.1	Gatow .....	120
8.1.2	Tegel.....	122
8.1.3	Wannsee.....	124
8.2	Testergebnisse Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte .....	124
8.2.1	Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte.....	124
8.2.2	Zeitliche Betrachtung – Saisonale Verläufe im Vergleich .....	125
8.2.3	Räumliche Betrachtung .....	131

8.3	Testergebnisse Zeckenaktivität für Nano-Transekte .....	135
8.4	Testergebnisse Prävalenzen .....	136
8.4.1	Konfidenzintervalle für Prävalenzen .....	136
8.4.2	Gesamtprävalenzvergleich mit Fisher-Exact-Test .....	139
8.4.3	Vergleich Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) mit Fisher-Exact-Test .....	140
8.5	Testergebnisse Genospeziesverteilung .....	141
8.5.1	Genospeziesverteilung im Standort und zwischen den Standorten .....	141
	Publikationsverzeichnis .....	144
	Schriftliche Publikationen.....	144
	Vorträge und Poster.....	145
	Danksagung .....	146
	Selbständigkeitserklärung .....	147

## Abkürzungsverzeichnis und Symbole

(\*) schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ) (stat.)

\* signifikant ( $p < 0,05$ ) (stat.)

\*\* hoch signifikant ( $p < 0,01$ ) (stat.)

\*\*\* höchst signifikant ( $p < 0,001$ ) (stat.)

Ad: Adulte (lat.)

*Aqua dest.: Aqua destillata* (lat.)

*B.: Borrelia*

*Ba: B. afzelii*

*Bb: B. burgdorferi* s.s.

*Bg: B. garinii*

*Bm: B. miyamotoi*

bp: base pair (engl.; Basenpaar: zwei Nucleobasen in der DNA/RNA, die zueinander komplementär sind)

*Bs: B. spielmanii*

*Bv: B. valaisiana*

ddNTP: Didesoxynucleosidtriphosphate (engl.)

DI: Doppelinfektionen

DMSO: Dimethylsulfoxid (chem.)

DNA: Desoxyribonucleinacid (engl.)

DNS: Desoxyribonucleinsäure (dt.)

dNTP: Desoxynucleosidtriphosphate (engl.)

FK: Forschungskette

FM: Friedman Test (stat.)

FWER: familywise error rate (stat.)

$g$ : Erdbeschleunigung  $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$

GA: Gatow

GA<sub>N</sub>: Gatow – Nano

inf: infiziert

IRD: Infrared dye (engl.)

KW: Kruskal-Wallis-Test (stat.)

m: Median (stat.)

MaKS: Makro-Klimastation

MW: Man-Whitney-Test (Post-Hoc-Test, stat.)

n: = Anzahl (stat.)

NA: not available (Daten nicht vorhanden)

ns: nicht signifikant ( $p > 0,1$ ) (stat.)

Ny: Nymphen

Ny+Ad: Nymphen + Adulte

PCR: Polymerase Chain Reaction (engl.)

PHT: Post-Hoc-Test (engl.; stat.)

upm: Umdrehungen pro Minute

s: signifikante Post-Hoc-Test's (stat.)

T: Transekt (=Strecke)

TF: Tegeler Forst

TF<sub>N</sub>: Tegeler Forst – Nano

TOT: *transovarial transmission* (engl.)

uts: untersucht

WD: Wannsee

## Glossar

**Ökoton:** Ein Ökoton (auch Saumbiotop oder Randbiotop) ist in der Ökologie ein Übergangsbereich zwischen zwei verschiedenen Ökosystemen oder Landschaften. (Beispiele: Waldränder, Baumreihen und Hecken)

**Stakeholder:** Als Stakeholder (engl. „Teilhaber“) wird eine Person oder Gruppe bezeichnet, die ein berechtigtes Interesse am Verlauf oder Ergebnis eines Prozesses oder Projektes hat. Ein alle Aspekte des Begriffs „Stakeholder“ umfassender Ausdruck deutschen Ursprungs existiert in der Literatur nicht, jedoch gibt es Näherungen.

**Transekt:** Ein Transekt ist ein Satz von Mess- bzw. Beobachtungspunkten entlang einer geraden Linie. Transekte werden methodisch in wissenschaftlichen Disziplinen verwandt, die einen räumlichen Bezug zu dem untersuchten Gegenstand herstellen. Vorteil der Transektkartierung ist die Wiederholbarkeit und die Standardisierung auch bei schwierigen Geländebedingungen.

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht der in Europa vorkommenden Genospezies des <i>Borrelia burgdorferi</i> s.l. Komplexes, ihrer Pathogenität für den Menschen und Wirtstierassoziation .....	9
Tabelle 2: Übersicht der Transekt-Kategorien Nano, Mikro, Makro für alle Standorte .....	14
Tabelle 3: Aufgenommene Sammel-Parameter je Standort und Transekt.....	20
Tabelle 4: Chemikalienübersicht .....	21
Tabelle 5: Lösungen.....	22
Tabelle 6: PCR Primer für die 16S- und OspA-PCR.....	22
Tabelle 7: Übersicht der Kits .....	22
Tabelle 8: Geräte und Materialien Übersicht.....	23
Tabelle 9: Übersicht gesammelter <i>I. ricinus</i> der Jahre 2010, 2011, 2012 für alle drei Standorte zusammen im Mikro- & Makro-Bereich und Verhältnis der Stadien zueinander ...	42
Tabelle 10: Übersicht gesammelter <i>I. ricinus</i> und dem Verhältnis der Stadien zueinander für den Mikro- & Makro-Bereich, getrennt nach Jahren und Standorten .....	43
Tabelle 11: Ergebnisse des Post-Hoc-Tests mit Quotientenberechnung (2010-2012) .....	62
Tabelle 12: Absolute Zahl gesammelter <i>I. ricinus</i> und Verhältnis der Stadien zueinander im Nano Bereich.....	64
Tabelle 13: Vergleich (Fisher Test) und Verhältnis von untersuchten Weibchen und Männchen (Adulte <i>I. ricinus</i> ) für alle Jahre und Standorte zusammen und getrennt .....	71

Tabelle 14: Borrelien-Prävalenz in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet.....	74
Tabelle 15: Borrelien-Prävalenz in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	77
Tabelle 16: Prävalenz <sub>hp</sub> , Dichte pro 100 m <sup>2</sup> , theoretisches Expositionsrisiko pro 100 m <sup>2</sup> für wirtssuchende Nymphen und Weibchen aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	81
Tabelle 17: Transektbeschreibung für Gatow (Waldgesellschaft: Laub-Kiefernmischwald)	120
Tabelle 18: Transektbeschreibung für Tegel.....	122
Tabelle 19: Transektbeschreibung für Wannsee.....	124
Tabelle 20: Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für alle Standorte (Absatz 3.2.1) .....	124
Tabelle 21: Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre (Absatz: 3.2.2) .....	124
Tabelle 22: Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte (Absatz: 3.2.3).....	125
Tabelle 23: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen und Adulten im Jahr für alle Standorte – Übersicht zu den FM und PHT-Tests (Absatz: 3.3) .....	125
Tabelle 24: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1).....	126
Tabelle 25: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1).....	127
Tabelle 26: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2012 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1).....	128
Tabelle 27: Vergleich der Tagesammeldichten von Adulten Gatow 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1).....	129
Tabelle 28: Vergleich der Tagesammeldichten von Adulten Gatow 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1).....	129
Tabelle 29: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Tegel 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.2).....	130
Tabelle 30: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Tegel 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.2).....	130
Tabelle 31: Vergleich der Transektsammeldichten von Nymphen und Adulten je Standort und Jahr – FM-, PHT-Tests und Ergebnisse (Absatz: 3.4.1) .....	131
Tabelle 32: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten von Nymphen und Adulten je Standort über alle drei Jahre 2010-2012 (Absatz: 3.4.2).....	131

Tabelle 33: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Gatow – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	131
Tabelle 34: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Gatow – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	133
Tabelle 35: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Tegel – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	133
Tabelle 36: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Tegel – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	133
Tabelle 37: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Wannsee – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	134
Tabelle 38: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Wannsee – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2).....	134
Tabelle 39: Ergebnisse Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre (Absatz: 3.5.1) .....	135
Tabelle 40: Ergebnisse Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte (Absatz: 3.5.2).....	135
Tabelle 41: Borrelien-Prävalenz ( $P$ , $P_{hp}$ , <i>B. miyamotoi</i> ) und Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet .....	136
Tabelle 42: Borrelien-Prävalenz für <i>B. afzelii</i> , <i>B. spielmanii</i> , <i>B. burgdorferi</i> s.s. und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet.....	136
Tabelle 43: Borrelien-Prävalenz für <i>B. garinii</i> , <i>B. valaisiana</i> und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet.....	137
Tabelle 44: Borrelien-Prävalenz ( $P$ , $P_{hp}$ , <i>B. miyamotoi</i> ) und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	137
Tabelle 45: Borrelien-Prävalenz für <i>B. afzelii</i> , <i>B. spielmanii</i> , <i>B. burgdorferi</i> s.s. und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	138
Tabelle 46: Borrelien-Prävalenz für <i>B. garinii</i> , <i>B. valaisiana</i> und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	139
Tabelle 47: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Gesamtprävalenz ( $P$ ) in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen den verschiedenen Standorten ohne <i>Bm</i> (3.7.2) .....	139

Tabelle 48: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Gesamtprävalenz (P) in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen Teilgebieten im Standort ohne <i>Bm</i> (3.7.2) .....	140
Tabelle 49: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen den verschiedenen Standorten ohne <i>Bm</i> (3.7.4).....	140
Tabelle 50: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede der Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen Teilgebieten im Standort ohne <i>Bm</i> (3.7.4) .....	140
Tabelle 51: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum Genospeziesvergleich in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen den Standorten (Standortvergleich untereinander) 2010+2011 (3.7.3)..	141
Tabelle 52: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum Genospeziesvergleich in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> zwischen den Standorten (Standortvergleich untereinander) im Jahr 2010, 2011 (3.7.3).....	141
Tabelle 53: Gatow: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> mit <code>pairwise.fisher.test()</code> – ohne <i>Bm</i> (3.7.3) .....	142
Tabelle 54: Tegel: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> mit <code>pairwise.fisher.test()</code> – ohne <i>Bm</i> (3.7.3) .....	142
Tabelle 55: Wannsee: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden <i>I. ricinus</i> mit <code>pairwise.fisher.test()</code> – ohne <i>Bm</i> (3.7.3) .....	143

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übertragungszyklus der Lyme-Borrelien (IWF Wissen und Medien gGmbH) .....	7
Abbildung 2: Stadtmessnetz der Meteorologie der Freien Universität Berlin und Lokalisation der Untersuchungsgebiete (schwarze Pfeile).....	13
Abbildung 3: Gesamtübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- (weißer Kasten) und Makro-Transekte am Standort Gatow (Legende siehe Abbildung 4, Google Maps 2009).....	15
Abbildung 4: Teilübersicht für die beflaggten Nano- und Mikro-Transekte am Standort Gatow (Google Maps 2009).....	16
Abbildung 5: Gesamtübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- und Makro-Transekte und den Bereichen ‚Hof‘ und ‚Wald‘ (schwarzer Kasten) am Standort Tegel (Legende siehe Abbildung 6, Google Maps 2009).....	17
Abbildung 6: Teilübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- und Makro-Transekte im Bereich ‚Hof‘ am Standort Tegel (Google Maps 2009).....	18
Abbildung 7: Gesamtübersicht für die beflaggten Makro-Transekte am Standort Wannsee (Google Maps 2012).....	19

Abbildung 8: Schritte der DNS Extraktion mit QIAamp®DNA and Blood Mini Kit (Abb. angepasst nach Nutzerhandbuch (o.A. 2012)).....	25
Abbildung 9: Schritte der PCR-Produktaufreinigung mit QIAquick® PCR Purification Kit (Abb. angepasst nach Nutzerhandbuch (o.A. 2015b)).....	27
Abbildung 10: Boxplotdarstellung* der Dichte wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für alle Standorte (*zur besseren Übersicht Transformation der y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel) .....	44
Abbildung 11: Boxplotdarstellung* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre.....	45
Abbildung 12: Boxplotdarstellung* der Dichte wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte .....	46
Abbildung 13: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Gatow (GA) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).....	48
Abbildung 14: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Gatow (GA) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).....	48
Abbildung 15: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Tegel (TF) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).....	49
Abbildung 16: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Tegel (TF) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).....	50
Abbildung 17: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Wannsee 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).....	51
Abbildung 18: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Wannsee (WD) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%).	51
Abbildung 19: Vergleich der Nymphenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, getrennt nach Jahren .....	54
Abbildung 20: Vergleich der Adulteraktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, getrennt nach Jahren .....	55
Abbildung 21: Vergleich der Nymphenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, 2010-2012 zusammen .....	56
Abbildung 22: Vergleich der Adulteraktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, 2010-2012 zusammen .....	56

Abbildung 23: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Tegel, getrennt nach Jahren.....	58
Abbildung 24: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Tegel, 2010-2012 zusammen .....	59
Abbildung 25: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Wannsee, getrennt nach Jahren.....	60
Abbildung 26: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Wannsee, 2010-2012 zusammen .....	61
Abbildung 27: Boxplots über die gemittelte Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte je Transekt und Standort, 2010 – 2012 zusammen .....	63
Abbildung 28: Boxplotdarstellung* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre.....	64
Abbildung 29: Boxplotdarstellung* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für beide Standorte.....	65
Abbildung 30: Clusteranalyse Gatow Nymphen 2010 – 2012.....	67
Abbildung 31: Clusteranalyse Gatow Adulte 2010 – 2012 .....	68
Abbildung 32: Clusteranalyse Tegel Nymphen 2010 – 2012 .....	69
Abbildung 33: Clusteranalyse Tegel Adulte 2010 – 2012 .....	70
Abbildung 34: Prävalenzübersicht für wirtssuchende Nymphen und Adulte zusammen betrachtet, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet.....	72
Abbildung 35: Prävalenzübersicht für wirtssuchende Nymphen und Adulte getrennt betrachtet, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet.....	73
Abbildung 36: Genospeziesverteilung in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 gemeinsam betrachtet.....	75
Abbildung 37: Genospeziesverteilung in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	76
Abbildung 38: Prävalenz <sub>hp</sub> in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet .....	79
Abbildung 39: Theoretisches Expositionsrisiko pro 100m <sup>2</sup> für wirtssuchende Nymphen und Weibchen aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet.....	80



# 1 Einleitung

Zecken sind mit über 850 Spezies derzeit weltweit zu finden. In ihrer Umwelt sind sie widerstandsfähig und ausdauernd; über fossile Funde lassen sie sich auf über 65 – 146 Mio. Jahre zurückdatieren (La Fuente 2003; Dennis und Piesman 2005; Benoit et al. 2007; Goodman et al. 2005). Zecken sind aufgrund ihrer möglichen Interaktion mit verschiedensten Wirten während ihres Lebenszyklus effektive Überträger diverser möglicher Pathogene, wie Viren, Bakterien und Protozoen (Brown et al. 2005; Munderloh 2011). Die Zahl der beschriebenen von Zecken übertragenen Krankheitserreger (tick borne diseases = TBD) wächst seit den letzten 30 Jahren. Davon ist die Lyme-Krankheit in den USA mittlerweile die am häufigsten gemeldete zeckenübertragene Krankheit, auch in Europa und Deutschland gilt sie als die häufigste TBD (Bacon et al. 2008; Paddock und Telford 2011; Wilking und Stark 2014). In Europa und Deutschland wird die Lyme-Krankheit durch *Ixodes ricinus* übertragen. Das Auftreten und die Ausbreitung der wichtigsten TBD werden neben biotischen und abiotischen Faktoren bestimmten menschlichen Maßnahmen, Verhaltensweisen, sowie sozio-ökonomischen Veränderungen zugeschrieben, welche Ökosysteme stören und unterbrechen. Bevölkerungswachstum und demografische Verschiebungen haben zu dramatischen Veränderungen in der Aufteilung und Zusammensetzung von natürlichen Habitaten geführt, indem Menschen das Land für Lebensraum, Landwirtschaft und Erholungsgebiete verändern (Randolph 2008; Vanwambeke et al. 2010; Olson und Patz 2011). Diese Veränderungen führen dazu, dass Menschen und Tiere an deutlich mehr Schnittstellen miteinander interagieren und sich dadurch die Gelegenheiten für die Übertragung von zoonotischen Infektionserkrankungen und auch TBD erhöhen. Damit kann also die Inzidenz von TBD in der menschlichen Bevölkerung steigen oder fallen, selbst wenn keine Veränderungen in der Stärke des biologischen Übertragungszyklus stattfinden (Randolph und Rogers 2010). Um Mensch und Tier vor den Folgen zoonotischer Infektionserkrankungen zu schützen, gibt es zwei verschiedene Ansatzpunkte: Einmal den Schutz *vor* der Infektion durch Prävention und *nach* der Infektion durch Diagnostik und Therapie. Prävention kann auf verschiedenen Ebenen erfolgen, wie Verhaltensänderung (durch Information), Impfung (derzeit gibt es keinen zugelassenen Impfstoff gegen die Lyme-Borreliose für den Menschen) – und bezogen auf die Zecken, durch eine Reduktion dieser vor Wirtskontakt oder die rechtzeitige Entfernung nach Kontakt (Ostfeld 2011). Um sinnvolle Präventionsmaßnahmen zu konzipieren, ist es wichtig, unter anderem die Verteilungsmuster von *I. ricinus* besser zu verstehen. Noch immer ist es von Bedeutung, unser lückenhaftes Wissen und Verstehen der komplexen Interaktionen von Zecken, Wirten, Pathogenen, Habitaten und dem möglichen Einfluss des Klimawandels zu verstehen (Institute of Medicine

(U.S.) 2011). Die vorliegende Dissertation konzentriert sich auf die Risikobestimmung und damit auch den Bereich der Prävention von Lyme-Borreliose, indem sie die Verteilungsmuster von wirtssuchenden *I. ricinus* im periurbanen Bereich in Berlin untersucht und diese mit der Bestimmung von standortbezogenen Prävalenzen von Lyme-Borrelien und dem daraus resultierenden theoretischen Expositionsrisiko kombiniert. Dieses Wissen kann zu sinnvollen Maßnahmen im Bereich der Prävention führen.

## **1.1 Einbettung der Arbeit in MILIEU**

Diese Doktorarbeit ist im Rahmen der Focus-Area "MILIEU" entstanden. MILIEU steht für: „Der Mensch im Ballungsraum unter Klima- und Umwelteinflüssen“. Ziel des Zukunftskonzeptes MILIEU war die Entwicklung eines neuen Forschungsclusters zu inter- und transdisziplinärer Klima- und Umweltforschung im urbanen und periurbanen Kontext. Die Förderphase im Rahmen der Exzellenzinitiative endete in 2012 (Gates 2012). Insgesamt gab es fünf verschiedene Forschungsketten. Diese Arbeit ist Teil der Forschungskette 1 „Vector-borne diseases in an urban environment“, in der klimatische und anthropogene Einflüsse auf Zecken und ihre Wirte in der Stadt Berlin untersucht wurden, um das potentielle Infektionsrisiko durch zeckenübertragene Erreger abzuschätzen (Gates 2012). Im Arbeitspaket 1: "Häufigkeit von Zecken und Prävalenz von humanpathogenen Erregern" wurden Zecken an drei periurbanen Standorten gesammelt, deren Dichte bestimmt, und auf die Erreger der Lyme-Borreliose untersucht.

## **1.2 Lyme-Borreliose Überblick**

Die Lyme-Borreliose in Europa ist eine durch *I. ricinus* übertragene zoonotische, bakterielle Infektionserkrankung des Menschen, wobei zahlreiche verschiedene Wirtstiere als Reservoirwirte fungieren. Die Infektionserreger der Lyme-Borreliose sind Spirochäten, die dem *Borrelia burgdorferi* sensu lato (s.l.) Komplex angehören, dieser lässt sich wiederum in verschiedene Genospezies aufgliedern. Aufgrund ihrer möglichen klinischen Verläufe führt die Lyme-Borreliose gesamtgesellschaftlich betrachtet zu hohen Kosten durch Diagnostik, Therapiemaßnahmen und Arbeitsausfall (Müller et al. 2012; Lohr et al. 2015). Die Lyme-Krankheit ist eine vergleichsweise „junge“ Erkrankung und die häufigste vektorübertragene Erkrankung in Europa, sie wird damit zu den „emerging infectious diseases“ (EID) gezählt (Steere et al. 2004). Obwohl sie als sich ausbreitende Erkrankung (EID) eingestuft wird, ist diese Einstufung auch kritisch zu betrachten. Denn es ist unklar, ob ein höheres Problembewusstsein und zunehmend bessere Diagnostik zu scheinbar mehr Erkrankungsfällen geführt haben oder reale Veränderungen in Umwelt und Verhalten des Menschen. Für die sechs östlichen Bundesländer in Deutschland, in denen eine Meldepflicht für Lyme-Borreliose besteht, gab es anfangs einen konstanten Anstieg in den Inzidenzen, ab

2010 jedoch eher einen Rückgang (Wilking und Stark 2014). Für jede Präventionsmaßnahme ist daher ein grundlegendes Verständnis über das komplexe Zusammenspiel aus Zecke, ihrer Wirte, dem Pathogen und ihrer Umwelt nötig (Matuschka und Spielman 1986; Ostfeld 2011).

### 1.3 Symptome Borrelieninfektion

Die Lyme-Borreliose des Menschen ist durch unterschiedliche Symptome gekennzeichnet. Initial kann es zu einer pathognomonischen Hautveränderung kommen, der sogenannten Wanderröte (EM: *Erythema migrans*). Das EM tritt in 60-80% der Fälle nach ein bis drei Wochen nach einer Infektion mit pathogenen Lyme-Spirochäten auf. Die Wanderröte bildet sich an der ursprünglichen Stichstelle der Zecke und breitet sich dann mit blassem Zentrum und hellem, roten Rand ringförmig aus. Grippeähnliche Symptome können das EM begleiten, wie Fieber, Kopfschmerzen und allgemeines Krankheitsgefühl mit Gliederschmerzen und Abgeschlagenheit. In diesem Stadium ist die Lyme-Borreliose durch orale Verabreichung von Antibiotika wie Doxycyclin oder Amoxicillin über 10-21 Tage gut therapierbar (Steere et al. 1983; Matuschka und Spielman 1986; Smith et al. 2002; Steere und Sikand 2003; Steere et al. 2004; Wormser et al. 2006). In der Disseminationsphase kann es zu neurologischen, muskuloskeletalen, dermatologischen und kardialen Manifestationen kommen, welche anschließend in persistierende Formen übergehen können (van Dam et al. 1993). Die neurologischen Erscheinungen sind Meningitis mit Fazialislähmung oder peripheren Lähmungen, selten auch Enzephalomyelitiden mit Para- oder Tetraparesen (Steere et al. 1986). In Folge einer möglichen Chronifizierung kann eine Demyelinisierung der Nerven die typischen Symptome von Syphilis simulieren, mit entsprechenden psychischen und neurologischen Erscheinungen. Diese späten Ausprägungen können ebenfalls Demenz einschließen und als Multiple Sklerose maskiert sein (Matuschka und Spielman 1986). Bezogen auf die muskuloskeletalen Erscheinungsbilder sind längere Zeit nach dem Zeckenstich am häufigsten auftretend Mono- und Oligoarthritis, die intermittierend oder auch chronisch verlaufen können (Steere et al. 1986; Steere et al. 1987; Steere 1990). Zu den dermatologischen Ausprägungen gehört die seltene Acrodermatitis chronica atrophicans (ACA), welche mit *Borrelia afzelii* assoziiert ist (Åsbrink et al. 1986; Ohlenbusch et al. 1996). Zu den kardialen Manifestationen gehören bei einem geringen Anteil, v.a. von vorbelasteten Patienten, auch Lyme-Karditiden, die meist zu einer atrioventrikulären Blockade führen (Van der Linde, M. R. 1990). Bei fortgeschrittener Infektion kann ebenfalls oral mit Doxycyclin oder Amoxicillin therapiert werden, bestehende Therapieansätze werden jedoch kontrovers diskutiert (Steere et al. 2004; Gerritzen 2011). Bei manchen persistierenden Manifestationen ist nur eine symptomatische Therapie mit Hoffnung auf Symptomlinderung möglich. Bei Patienten wurden die Lyme-Spirochäten in diversen Gewebeproben nachgewiesen,

einschließlich Blut (selten), Synovia, Haut, Herz und anderen Organproben (Steere et al. 1986; Duray und Steere 1988). Insgesamt spielt die Immunreaktion des Menschen eine Schlüsselrolle in der Krankheitspathogenese. Die Lyme-Borreliose kann in Summe massive biologische, soziale und gesellschaftliche Auswirkungen auf den Patienten haben (Luft 2011). Aufgrund der beschriebenen mannigfaltigen Symptomatik und der daraus resultierenden schwierigen klinischen Diagnostik, ist es neben einer schnellen und zuverlässigen Diagnostik, ebenfalls ein grundlegendes Ziel, die Infektion mit Lyme-Borrelien von vornherein zu verhindern. Daher konzentriert sich diese Arbeit auf die Untersuchung von periurbanen Standorten, um das Expositionsrisiko im städtischen Bereich in Berlin zu untersuchen.

### **1.3.1 Meldepflicht und Inzidenzen**

Das Infektionsschutzgesetz (IfSG) legt fest, dass die generell vorgesehene Meldepflicht in den Stadtstaaten bzw. den Bundesländern per Landesverordnung ausgeweitet werden kann. Von dieser Möglichkeit haben in Bezug auf Lyme-Borreliose Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen Gebrauch gemacht, seit 2011 auch Rheinland-Pfalz und das Saarland, wobei es jedoch Abweichungen unter den sechs genannten östlichen Bundesländern zwischen Arzt- und Labormeldepflicht gibt (Robert Koch-Institut (RKI) 2009). Meldepflichtig sind Erythema migrans, Neuroborreliose (Radiculoneuritis, kraniale Neuritis, Meningitis) und Lyme-Arthritis. Absolut wurden von 2009 bis 2012 rund 18.900 Fälle in den sechs östlichen Bundesländern gemeldet. Die durchschnittliche Inzidenz variierte von 34,9 Fällen/100.000 Einwohner in 2009 und 19,45 Fällen/100.000 Einwohner in 2012. Dabei gab es über alle Jahre eine deutliche Saisonalität der Meldedaten im August (Wiling und Stark 2014). Die Inzidenz in Berlin lag mit 1,18 Fällen/100.000 Einwohnern in 2011 deutlich unter dem bundesweiten Wert von 9,75 Fällen/100.000 Einwohnern und unterschied sich auch zwischen den einzelnen Bezirken stark. Eine etwas höhere Inzidenz fällt in den periurbanen Stadtbezirken auf. Die deutlich niedrigeren Inzidenzen in Berlin und die Unterschiede in den einzelnen Bezirken können aber auch mit einem unterschiedlichen Meldeverhalten von Ärzten und Laboren zusammenhängen. Des Weiteren kann unterschiedliches Freizeitverhalten der Berliner eine Rolle spielen. Einer der wichtigsten Punkte ist, dass Melde- und Infektionsort nicht übereinstimmen müssen (Landesamt für Gesundheit und Soziales 2011; Wilking und Stark 2014). Insgesamt können die Meldedaten wie sie bisher erhoben werden, nur als Orientierungshilfe genutzt werden und müssen durch weitere Studien ergänzt werden.

## 1.4 *Ixodes ricinus* als Vektor und seine Vektorkompetenz

Distinkter Vektor der Lyme-Spirochäten ist *I. ricinus*, der Gemeine Holzbock, in Europa. Um sich von einem Stadium zum nächsten weiterentwickeln zu können, muss die zu den Schildzecken gehörende Art je Stadium eine Blutmahlzeit zu sich nehmen, welche über mehrere Tage erfolgt. Nach dem Schlüpfen aus dem Ei wird zwischen folgenden drei Entwicklungsstadien unterschieden: Larve, Nymphe, Adulte mit Männchen und Weibchen. Im Gegensatz zu anderen Schildzecken saugt das Männchen bei *I. ricinus* kein Blut. Larven und Nymphen haben ein breites Wirtsspektrum von kleinen Säugetieren wie Nagetieren bis hin zu großen Säugetieren, sowie Vögeln und Eidechsen (Matuschka et al. 1990; Matuschka et al. 1992; Matuschka et al. 1993; Boer et al. 1993; Humair et al. 1993a; Jaenson et al. 1994; Kurtenbach et al. 1995; Olsén et al. 1995; Estrada-Peña et al. 2005). Die adulten Weibchen bevorzugen als Wirte größere Säugetiere Hunde, Katzen, Füchse, Hasen, Schafe, Rinder, Rotwild, Rehwild und Damwild (Jaenson und Tälleklint 1992; Matuschka et al. 1993; Matuschka et al. 1994; Tälleklint und Jaenson 1997; Lindgren et al. 2000; Sréter et al. 2005). Adulte Weibchen paaren sich mit den Männchen entweder während der Wirtssuche oder auf dem Wirt vor oder während des Saugaktes. Vollgesogene begattete Weibchen legen bis zu 2.000 Eier, aus denen nach einigen Monaten die Larven schlüpfen; nach der Eiablage stirbt das Weibchen. *I. ricinus* ist empfindlich gegen Trockenheit und bevorzugt daher Rückzugsräume mit hoher Luftfeuchtigkeit, wie im Unterholz, dichter Bodenvegetation oder Laub. Wenn *I. ricinus* auf Wirtssuche ist, verlässt es diese schützenden Räume und kann abhängig vom Mikroklima und der vorherrschenden Luftfeuchtigkeit von Bodenhöhe bis zu ein Meter Höhe und mehr auf Wirte lauern (Needham und Teel 1991; Perret et al. 2000; Schulze et al. 2001). Dabei lassen sie sich passiv von vorbeiziehenden Wirten von der Vegetation abstreifen, was man sich beim Sammeln der Zecken zu Nutze macht. In der Regel sind diese Zecken in Ökotonen zu finden, also Übergangsbereichen von größeren Vegetationsstrukturen, wie beispielsweise am Übergang von Wald zu Wiese.

### 1.4.1 Erregerzyklus

Der Übertragungszyklus der Lyme-Borrelien ist ein sich selbsterhaltender Kreislauf in der Natur (Abbildung 1). Aus den Eier-Gelegen, die zum Schutz vor Austrocknung im Unterholz und der Laubschicht abgelegt werden, schlüpfen nach Wochen bis Monaten die bis zu 1mm großen Larven mit sechs Beinen. Die wirtssuchenden Larven sind frei von Lyme-Borrelien, da für diese keine transovarielle Übertragung von Weibchen auf Eier stattfindet (Richter et al. 2012; Rollend et al. 2013). Ist ein kompetentes Wirtstier mit Borrelien infiziert, werden die Bakterien mit der Blutmahlzeit von den Larven aufgenommen. Über einen Zeitraum von Wochen bis Monaten entwickeln sich aus den vollgesogenen Larven achtbeinige Nymphen. Manche dieser Nymphen tragen nun die Borrelien in sich und können dadurch mit ihrer

nächsten Blutmahlzeit einen Wirt infizieren. Die Nymphen sind mit rund 1,5 mm schon etwas größer und können neben verschiedenen Tierarten auch am Menschen saugen. Weil sie bereits infektiös sein können und aufgrund ihrer Größe leicht zu übersehen sind, ist es besonders wichtig, auf die kleinen Nymphen zu achten, wenn man sich nach einem Aufenthalt im Grünen nach Zecken absucht (Ostfeld 2011). Die Prävalenzen mit Borrelien sind stark standortabhängig und können variieren (Richter et al. 1999; Richter und Matuschka 2011). Die gesogenen Nymphen entwickeln sich nach erfolgreicher Blutmahlzeit weiter zu den Adulten. Das können Männchen oder Weibchen sein. In der Regel saugen die Männchen kein Blut, ihre Funktion ist, die Weibchen zu begatten, danach sterben sie. Die Weibchen unterscheiden sich in ihrem Aussehen deutlich von den Männchen. Sie sind mit bis zu fünf Millimetern deutlich größer und ihr Schild bedeckt nur einen Teil ihres orange-braunen Körpers. Bei den Männchen geht der Schild über den ganzen Körper, daher erscheinen diese rund 2-3 Millimeter kleinen Tiere fast schwarz. Die adulten Weibchen saugen an größeren Wirten. Auch hier ist der Mensch ein potenzieller Wirt. Im Laufe ihres Lebenszyklus hatten die Weibchen nun zweimal die Möglichkeit, Erreger über vorherige Wirte mit der Blutmahlzeit aufzunehmen, entweder als Larve oder als Nymphe. Deswegen sind die Infektionsraten in adulten Zecken mit bis zu 50 Prozent in der Regel höher, als die in Nymphen (Rauter und Hartung 2005).

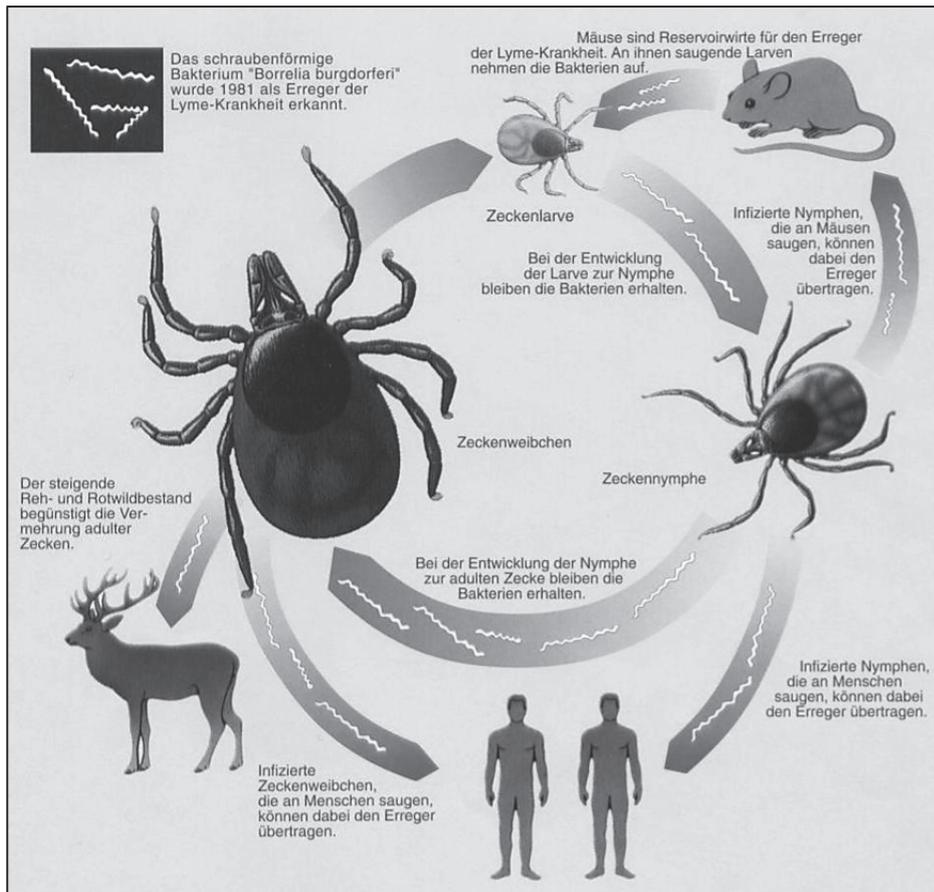


Abbildung 1: Übertragungszyklus der Lyme-Borrelien (IWF Wissen und Medien gGmbH)

### 1.4.2 Saisonale Aktivität

In Zentraleuropa sind alle drei wirtssuchenden Stadien von *I. ricinus* ungefähr zeitgleich im Frühjahr Anfang März/April aktiv, vor Ende November geht ihre Aktivität gegen Null. Interessanterweise scheint die Aktivität von Nymphen und Adulten 3-4 Wochen vor der Larven-Aktivität zu starten, was Auswirkungen auf den Infektionszyklus haben kann: Wenn infizierte Zecken (Nymphen, Adulte) an nicht infizierten Reservoirwirten saugen, diese erfolgreich infizieren, können so die Larven über die frisch infizierten Wirte die Borrelien erwerben. Meist wird ein bimodales Aktivitätsmuster beschrieben: Mit einem Aktivitätshoch von April bis Juni und einem zweiten vom Spät-August über den September (Belozеров 1982; Gray 1985, 1991). Jedoch scheint dieses bimodale Aktivitätsmuster stark von Umweltfaktoren, wie Luftfeuchtigkeit und Temperatur abzuhängen. Bei kühleren und feuchteren Sommern tritt keine bimodale Zecken-Aktivität auf. Alle drei Stadien von *I. ricinus* können überwintern, wobei Eier und gesogene Stadien höhere Überlebensraten haben (Matuschka und Spielman 1986).

### 1.4.3 Vektorkompetenz und Vektorkapazität

Die Begriffe Vektorkompetenz und Vektorkapazität beschreiben die Rolle eines Vektors in der Aufrechterhaltung einer Zoonose. Die Vektorkompetenz bezieht sich auf die Beziehung zwischen Vektor und Pathogen und beinhaltet alle Faktoren bezogen auf Aufnahme des Pathogens, seiner Entwicklung und seines Transports zu dem Reservoirwirt. Dabei unterscheidet man zwischen vertikaler und horizontaler Vektorkompetenz. Von vertikaler Kompetenz spricht man, wenn die Erreger über eine transovarielle Übertragung (TOT: *transovarial transmission*, engl.) vom adulten Weibchen an die Nachkommen weitergegeben werden und damit schon das Larvenstadium mit dem Erreger infiziert ist. Eine TOT kann mittlerweile für Lyme Borrelien ausgeschlossen werden, wohingegen sie für *B. miyamotoi* stattfindet (Richter et al. 2012). Von einer horizontalen Kompetenz spricht man, wenn beispielsweise die Nymphen den im Larvenstadium aufgenommenen Erreger an den Reservoirwirt weitergeben und prinzipiell keine transovarielle Übertragung des Erregers stattfindet. Die *Vektorkompetenz* beinhaltet die *Vektorkapazität* und alle Verhaltens- und Umweltfaktoren, welche die Verbreitung des Pathogens durch den Vektor beeinflussen, dazu gehören unter anderem Abundanz und Wirtsspezifität des Vektors (Matuschka und Spielman 1986).

### 1.5 Lyme-Spirochäten und Wirtsassoziation

Der *Borrelia burgdorferi* s.l. Komplex umfasst weltweit mindestens 18 Genospezies. Die in Deutschland und Europa vorkommenden sieben Genospezies sind: *Borrelia afzelii*, *Borrelia burgdorferi* sensu stricto, *Borrelia bavariensis*, *Borrelia garinii*, *Borrelia lusitaniae*, *Borrelia spielmanii*, *Borrelia valaisiana* (Tabelle 1, Stanek und Reiter 2011). Die Spirochäte *Borrelia miyamotoi*, ursprünglich in Japan in *Ixodes persulcatus* Zecken detektiert und beschrieben, wird nicht dem Lyme-Komplex zugeordnet und ist damit keine Lyme-Spirochäte (Fukunaga et al. 1995). Sie ist auch in Europa in wirtssuchenden *I. ricinus* mit bis zu 4% prävalent (Richter et al. 2003; Cochez et al. 2014). Aufgrund ihrer Flagellin-Struktur und 16S-RNA Sequenz ist sie eher den Rückfallfieber Spirochäten zuzuordnen. Im Gegensatz zu den Lyme-Spirochäten findet eine transovarielle Übertragung (TOT) von *B. miyamotoi* statt (Richter et al. 2012; Richter et al. 2013). Verschiedene Studien in Europa haben gezeigt, dass bestimmte Genospezies mit verschiedenen Wirten assoziiert sind. *B. afzelii* und *B. bavariensis* sind angepasst an Nagetiere, wohingegen *B. valaisiana* und *B. garinii* mit Vögeln assoziiert sind (Humair et al. 1999; Richter et al. 1999; Rizzoli et al. 2011). *B. spielmanii* wird assoziiert mit kleinen Säugetieren wie Ratten, Gartenschläfern und Haselmaus (Richter et al. 2011). *B. lusitaniae* wird von Eidechsen perpetuiert und in Europa eher sporadisch gefunden (Richter und Matuschka 2006b; Rizzoli et al. 2011). *Borrelia burgdorferi* s.s. wird eher als Generalist angesehen, hier dienen sowohl Vögel als auch Nagetiere als Reservoirwirte (Richter et al. 2004a). Die Pathogenität der

Genospezies scheint unabhängig von ihrer Wirtstierassoziation zu sein. *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. bavariensis*, *B. burgdorferi* s.s. und *B. garinii* werden sicher als humanpathogen eingestuft, wohingegen die Pathogenität von *B. valaisiana* und *B. lusitaniae* noch immer ungeklärt und eher unwahrscheinlich ist (Rizzoli et al. 2011). Die Prävalenzen und Genospeziesverteilung unterscheiden sich je nach Untersuchungsgebiet, dabei werden in Europa *B.afzelii* und *B.garinii* gefolgt von *B.valaisiana* und *B.burgdorferi* s.s. als die am häufigsten vertretenen Genospezies in Prävalenzuntersuchungen angesehen (Richter et al. 1999; Richter et al. 2004b; Richter und Matuschka 2011; Rizzoli et al. 2011; Richter et al. 2013). Eher sporadisch bzw. nur fokal werden *B.spielmanii* und *B.lusitaniae* in Europa bei wirtssuchenden Zecken detektiert, was auf die unterschiedliche Wirtstierassoziation und wiederum deren Habitatsansprüche und damit auch auf deren Perpetuierung zurückzuführen ist (Fingerle et al. 2008; Richter et al. 2013). Es wurde mehrfach festgestellt, dass keine regionalen festen Muster in der Genospeziesverteilung zu erkennen sind, sondern sich diese Muster immer wieder regional unterscheiden (Rizzoli et al. 2011). Die Genospeziesverteilung erscheint als spezifisch für einzelne Untersuchungsgebiete und zufällig zwischen verschiedenen, ein Genospeziesvergleich sollte also innerhalb eines Untersuchungsgebietes stattfinden und nicht zwischen verschiedenen (Richter et al. 1999; Richter und Matuschka 2011). Ziel dieser Arbeit war es daher die Genospeziesverteilung im periurbanen Bereich der Stadt Berlin für die drei Untersuchungsstandorte auf vergleichsweise kleinskaliger Ebene zu untersuchen.

**Tabelle 1: Übersicht der in Europa vorkommenden Genospezies des *Borrelia burgdorferi* s.l. Komplexes, ihrer Pathogenität für den Menschen und Wirtstierassoziation**

Genospezies	<i>B.a.</i>	<i>B.s.</i>	<i>B. bav.</i>	<i>B.b.s.s.</i>	<i>B.g.</i>	<i>B.v.</i>	<i>B.l.</i>
Pathogenität	humanpathogen					nicht humanpathogen	
Wirtsassoziation	Nager			Nager und Vögel		Vögel	Eidechsen

*B.a.:* *B. afzelii*, *B.s.:* *B. spielmanii*, *B. bav.:* *B. bavariensis*, *B.b.s.s.:* *B. burgdorferi* s.s., *B.g.:* *B. garinii*, *B.v.:* *B. valaisiana*, *B.l.:* *B. lusitaniae*

## 1.6 Wirte

Die Aufrechterhaltung des Erregerzyklus und damit einer möglichen Infektion/ Infektionsrisikos des Menschen, hängt unter anderem ab von

- der Anzahl der Zecken, die den Erreger vom Wirt erlangen,
- der Anzahl der Wirte, die mit dem Erreger infiziert sind,
- der Anzahl der infizierten Zecken die an kompetenten Wirten saugen,
- der Reservoirkompetenz verschiedener Wirtstierspezies,
- und der Verteilung von Larven und Nymphen auf den Wirten.

Für die Beschreibung dieser Interaktionen wurden die Begriffe der Reservoirkompetenz, Reservoirkapazität und der Zooprohylaxe geprägt.

### **1.6.1 Reservoirkompetenz**

Für die Aufrechterhaltung des vektorvermittelten Erregerzyklus spielt die Fähigkeit des Zecken-Wirtes ebenfalls Wirt für ein Pathogen zu sein eine tragende Rolle. Der Wirt muss durch sein Verhalten die häufige Infestation mit Zecken ermöglichen und immunologisch zulassen. Ein kompetenter Reservoirwirt muss die Spirochäten leicht von einem Vektor erwerben können (Infektion), sie für einen längeren Zeitraum behalten (Persistenz, Proliferation) und für die nachfolgend an ihm saugenden Zecken infektiös sein (Infektiösität). Die Infektiösität des Wirtes und ihre Dauer bestimmen, wie erfolgreich und wie viele Zecken vom Wirt infiziert werden. Je mehr Zecken infiziert werden, umso kompetenter ist der Wirt. Dabei unterscheiden sich die Wirte stark in ihrer Reservoirkompetenz (Richter et al. 2004a; Richter et al. 2011). Die Charakterisierung der Reservoirkompetenz muss daher über Übertragungsexperimente im Labor durchgeführt werden (Richter et al. 2000; Richter et al. 2004a; Richter und Matuschka 2010; Richter et al. 2011).

### **1.6.2 Reservoirkapazität**

In Felduntersuchungen dagegen prüft man die Reservoirkapazität der Wirtstiere. Die Reservoirkapazität beschreibt den relativen Beitrag an infizierten Zecken in der Zeckenpopulation, den eine Wirtstierart im Vergleich zu anderen Wirtstierarten leistet. Wichtig sind deshalb die relative Abundanz der Wirtstierarten, ihre Infestationsdichte mit Larven und Nymphen und die Prävalenz der Infektion zusätzlich zur Reservoirkapazität. Für die Aufrechterhaltung des Zyklus der Lyme Borrelien ist die Infektion von Larven wichtig, damit diese als Nymphen neue Reservoirwirte infizieren können. Je weniger Larven an einem Wirt saugen, desto niedriger seine Reservoirkapazität. Ein guter Reservoirwirt sollte sich möglichst oft im Lebensraum der Zecken aufhalten, also bodennah und im ökotonen Bereich. Je mehr und je häufiger bestimmte Tiere in einem Biotop sind, desto mehr Zecken können an ihnen saugen. Je mehr infizierte Nymphen an einem kompetenten Wirt saugen, desto wahrscheinlicher die Infektion des Wirtes mit Spirochäten. Nur reservoirkompetente Tierarten, die in der Natur sowohl von Nymphen als auch von Larven zahlreich parasitiert werden, sind effektive Reservoirwirte für Lyme-Spirochäten (Matuschka et al. 1996; Matuschka et al. 1993; Richter et al. 2000).

### **1.6.3 Zooprohylaxe**

Einen zooprohylaktischen Effekt haben Tiere, die nicht reservoirkompetent sind für Lyme-Spirochäten. Sie werden nicht mit Lyme-Spirochäten infiziert und tragen daher nur nichtinfizierte Zecken zur Vektorpopulation bei. Nicht-reservoirkompetente Tiere können

sein: Eidechsen, Kaninchen, Schafe, Ziegen, Rinder, Rehwild, Rotwild oder Damwild (Telford et al. 1988; Lane 1990; Jaenson und Tälleklint 1992; Matuschka et al. 1992; Matuschka et al. 1993; Matuschka et al. 1994; Matuschka et al. 2000; Richter und Matuschka 2010). Infizierte Zecken, die an nicht-reservoirkompetenten Tieren saugen, können die Lyme-Spirochäten nicht weitergeben und verlieren häufig diese sogar häufig durch die Blutmahlzeit. Zusätzlich werden Larven, die an solchen Wirten saugen, nicht mit Lyme-Spirochäten infiziert und damit dem Zyklus als nichtinfektiöse Nymphen entzogen. Je mehr Zecken an zooprophyllaktischen Wirten saugen, desto niedriger ist die Prävalenz von Lyme-Spirochäten und damit das Infektionsrisiko in einem Gebiet (Richter und Matuschka 2006a, 2010, 2011). Einerseits wird durch nichtkompetente Wirte die Prävalenz infizierter wirtssuchender Zecken vermindert, andererseits können sie entscheidend zur Vektorvermehrung beitragen und damit wieder indirekt das Infektionsrisiko verstärken (Jaenson und Tälleklint 1992). Die Wahrscheinlichkeit des Menschen sich mit Lyme-Borrelien zu infizieren hängt also ab von dem komplexen Zusammenspiel aus Reservoirkompetenz, Kapazität und damit verbundenen Verdünnungs- oder Verstärkungseffekten.

## 1.7 Zielstellung

Im Hinblick auf den Schutz des Menschen und damit der Prävention gibt es immer wieder Ansätze und Überlegungen zur Erstellung von „Zecken-Risiko-Karten“, die anzeigen sollen, in welchen Gebieten mit Lyme-Borrelien infizierte *I. ricinus* gehäuft vorkommen (Rauter und Hartung 2005). Bei Betrachtung der diversen Faktoren, die einleitend beschrieben sind und welche schließlich zu einer Infektion des Menschen führen können, erscheint es sinnvoll, sich auf die drei folgenden praktisch relevanten Hauptkomponenten zu begrenzen. Dies sind die Aktivität der wirtssuchenden Nymphen und Adulten von *I. ricinus*, deren Infektionsraten mit humanpathogenen Lyme-Borrelien und das daraus resultierende Expositionsrisiko. Ein vierter zum Infektionsrisiko gehörender Faktor ist das Verhalten des Menschen, auf dieses wird in dieser Untersuchung jedoch nicht eingegangen. Hinsichtlich der Prävention fand diese Untersuchung im Kontext des periurbanen Raumes Berlin statt. Sie sollte zum einen erstmals über einen Zeitraum von drei Jahren die Aktivitäten von Zecken im periurbanen Raum messen und dem besseren Verständnis der Biologie dieser Zecke dienen und zum anderen sollte dies in Verbindung mit der Bestimmung der Prävalenzen von humanpathogenen Lyme-Borrelien geschehen. Dabei sollten die Aktivitäten von *I. ricinus* sowohl groß- als auch kleinräumig untersucht werden mit Bezug zu Zeit und Raum. Aufgrund einer fehlenden Standardisierung in Freiland-Untersuchungen zum Aktivitätsverhalten von *I. ricinus* wurde hier nach Alternativen in den Betrachtungsmöglichkeiten gesucht. Dabei wurden Verfahren verglichen, die es möglich machen, Untersuchungen groß- und kleinräumig durchzuführen. Ziel war es, valide Standards zu entwickeln, die eine Betrachtung

und Vergleich unterschiedlicher Untersuchungsgebiete möglich machen. Bisher genutzte Verfahren, wie die Beschreibung der Zeckenaktivitäten durch die Dichte und deren Darstellung über wenig übersichtliche Boxplots, sollten mit einem neuen Ansatz ergänzt oder ersetzt werden. Zur Umsetzung dieser Ziele bestand der Untersuchungsansatz aus drei Basiskomponenten:

1. Feldarbeit: zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Zecken, wurde zwischen Makro-, Mikro- und Nanotransekten unterschieden, die mit unterschiedlichen Flaggmethoden beprobt wurden.
2. Laborarbeit: zur Bestimmung der Prävalenz von Lyme-Borrelien in den gesammelten Zecken und zur Identifizierung der Genospezies
3. Statistik: komplexe statistische Auswertung der erhobenen Daten in R und SaTScan™ mit verschiedenen Betrachtungsweisen getrennt nach Mikro- & Makro- und Nano-Bereichen, die den räumlichen Aspekt der Zecken- und der Genospeziesverteilung untersuchte.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Methoden

#### 2.1.1 Auswahl der Untersuchungsgebiete

Die Festlegung der Standorte und ihrer zu beprobenden Transekte erfolgte durch Begehungen und mehrfaches Probeflaggen und -sammeln im Herbst 2009. Die Standorte wurden damit auf ihre Tauglichkeit evaluiert hinsichtlich der Biotopstrukturen, Zeckenvorkommen und Flaggbedingungen. Im Zuge dessen wurden für 2010 die Transekte entsprechend definiert. Es gab drei periurbane Untersuchungsgebiete: Gatow (General-Steinhoff-Kaserne [GA]), Tegel (Tegel Forstamt [TF]) und Wannsee [WD]. Diese Doktorarbeit war im Verbundprojekt „Milieu“ eingebettet und wurde in Kooperation mit der Meteorologie FU-Berlin durchgeführt. Daher erfolgte die Standortauswahl aufgrund der direkten Nähe zum meteorologischen Stadtmessnetz der Meteorologie Berlin (siehe Pfeile Abbildung 2, Müller o.J.). Beim Standort Wannsee handelt es sich um ein Privatgrundstück ohne direkte Nähe zu einer Wetterstation. Der Standort Wannsee wurde für die Untersuchung gewählt, da der Besitzer regelmäßig im Jahr Zecken an sich gefunden hatte und auch schon eine Lyme-Borreliose bei ihm diagnostiziert worden war.



Abbildung 2: Stadtmessnetz der Meteorologie der Freien Universität Berlin und Lokalisation der Untersuchungsgebiete (schwarze Pfeile)

An den Standorten Gatow und Tegel wurden zusätzlich Mikroklima-Messstationen aufgestellt, um mikroklimatische Daten auf Zeckenniveau zu messen. Mit räumlichem Bezug zu den Mikroklima-Messstationen erfolgte bei diesen Standorten eine zusätzliche Einteilung der Untersuchungstransekte in Nano-, Mikro- und Makro-Bereiche (Tabelle 2). Diese zeichnen sich durch unterschiedlichen Transekt-Längen und Beflagungsarten aus:

- Nano: 1x1m Fläche, Flagge 1x1m
- Mikro: ca. zwanzig Schritte lang, abhängig von Vegetationsstrukturen, Flagge 1x1,5m
- Makro: länger als zwanzig Schritte, die Länge ist abhängig von Vegetationsstrukturen, Flagge 1x1,5m

**Tabelle 2: Übersicht der Transekt-Kategorien Nano, Mikro, Makro für alle Standorte**

Standort	Transekt-Kategorie		
	Nano	Mikro	Makro
<b>Gatow</b>	1x1 m	mindestens 20 Schritt lang	Länge abhängig von räumlichen Strukturen
<b>Tegel</b>	1x1 m	mindestens 20 Schritt lang	Länge abhängig von räumlichen Strukturen
<b>Wannsee</b>	—	—	Länge abhängig von räumlichen Strukturen

Prinzipiell wurden die Nanotransekte, für parallel stattfindende Untersuchungen der Meteorologie Berlin, immer in Nähe der Mikroklimastation angelegt, in einem nahen Abstand dazu folgten dann die Mikrotransekte, und weiter davon entfernt die Makro-Transekte. Die Beschriftung erfolgte für alle Standorte nach folgendem Muster:

- Nano: Großbuchstaben von A-Z
- Mikro: Zahl + Buchstabe (1a, 1b, etc.)
- Makro: Zahl (1, 2, etc.)<sup>1</sup>

Generell wurden die Transekte anhand bestimmter Vegetationsstrukturen ausgewählt, sie sollten den Standort mit seinen wichtigsten räumlichen Charakteristika abbilden. Dabei wurden sowohl Ökotope als auch zusammenhängende freie Flächen berücksichtigt.

### 2.1.2 Standortcharakterisierung

Detaillierte Beschreibungen zu Transekt-Typ (Nano, Mikro, Makro), Transektlänge, Transektausrichtung, Bodenbedeckung, Vegetation, Vegetationshöhe und Schatten aufgeführt für jeden Standort finden sich in den Anhangs-Tabellen unter Abschnitt 8.1.

<sup>1</sup>Ausnahme: Gatow Transekte 10a, 10b, 11a, 11b, 12a, 12b sind ebenfalls Makro-Transekte (siehe auch Abbildung 3)

### 2.1.2.1 Gatow

(52°28'9.7"N 13°08'26.1"E, Höhe: 72,8 m)

Das Untersuchungsgebiet mit einer Gesamtlänge aller Transekte (Nano, Mikro, Makro) von rund 1143 m befand sich auf der General-Steinhoff-Kaserne in der Nähe vom Luftwaffenmuseum und ist nicht öffentlich zugänglich. Die Makroklimastation hatte einen Mindestabstand von rund 59 m (Makro-Klimastation (MaKS) zu Transekt (T) 15) und einem Maximalabstand von rund 355 m (MaKS zu T 3e) zu den Untersuchungstransekten. An diesem Standort wurde eine Mikroklimastation aufgestellt. Diese war ca. 309 m von der Klimastation des Stadtmessnetzes entfernt. Die Nano-Transekte hatten eine Gesamtlänge von 26 m. Den Standort Gatow kennzeichnete ein Laub-Kiefern-Mischwald, welcher durch breite Waldschneisen und Wege unterbrochen wurde. Entweder wurde direkt am Waldrand geflaggt oder auf Freiflächen, jedoch nicht im Wald (Details siehe Anhang: Tabelle 17). Insgesamt wechselten hier sehr schattige Abschnitte mit teilweise sehr sonnigen Abschnitten. Die Besonderheit in Gatow war der Mittelteil der längsten Waldschneise, der Boden war hier an manchen Stellen leicht abschüssig, uneben und bildete größere Kuhlen; nach Regenfall stand das Wasser für längere Zeit in den Bodenkuhlen (Transekte 8, 10). An diesen Stellen wuchs, neben diversen anderen Grasarten, breitflächig Binsengras und vereinzelt Schilfrohr, beides Arten, die feuchte Standorte bevorzugen. Gatow war der einzige Standort, an dem in allen drei Jahren auch *Dermacentor reticulatus* Zecken geflaggt wurden. Diese Spezies wird in dieser Arbeit jedoch nicht weiter betrachtet.

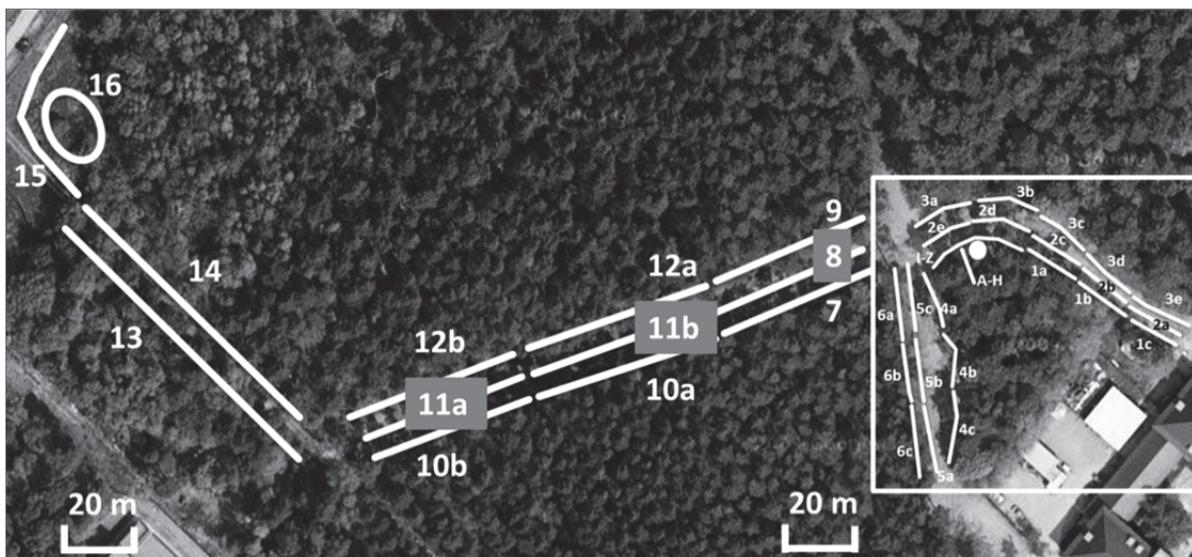


Abbildung 3: Gesamtübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- (weißer Kasten) und Makro-Transekte am Standort Gatow (Legende siehe Abbildung 4, Google Maps 2009)

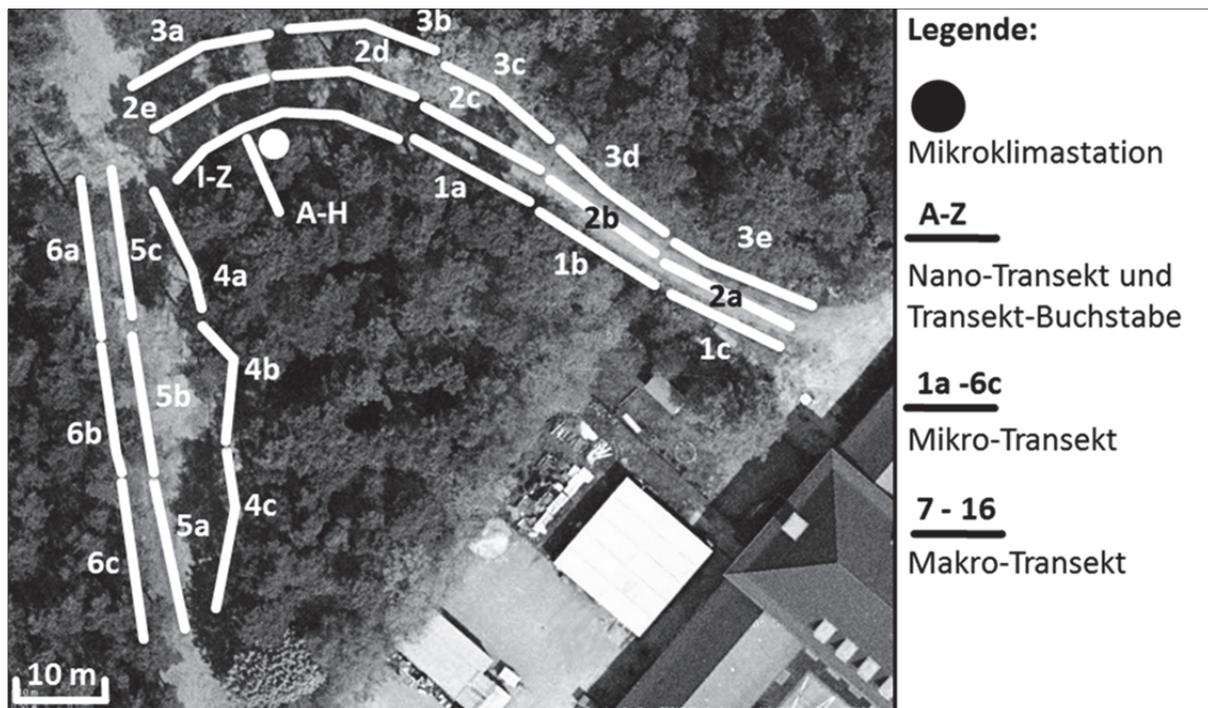


Abbildung 4: Teilübersicht für die beflaggten Nano- und Mikro-Transekte am Standort Gatow (Google Maps 2009)

### 2.1.2.2 Tegel

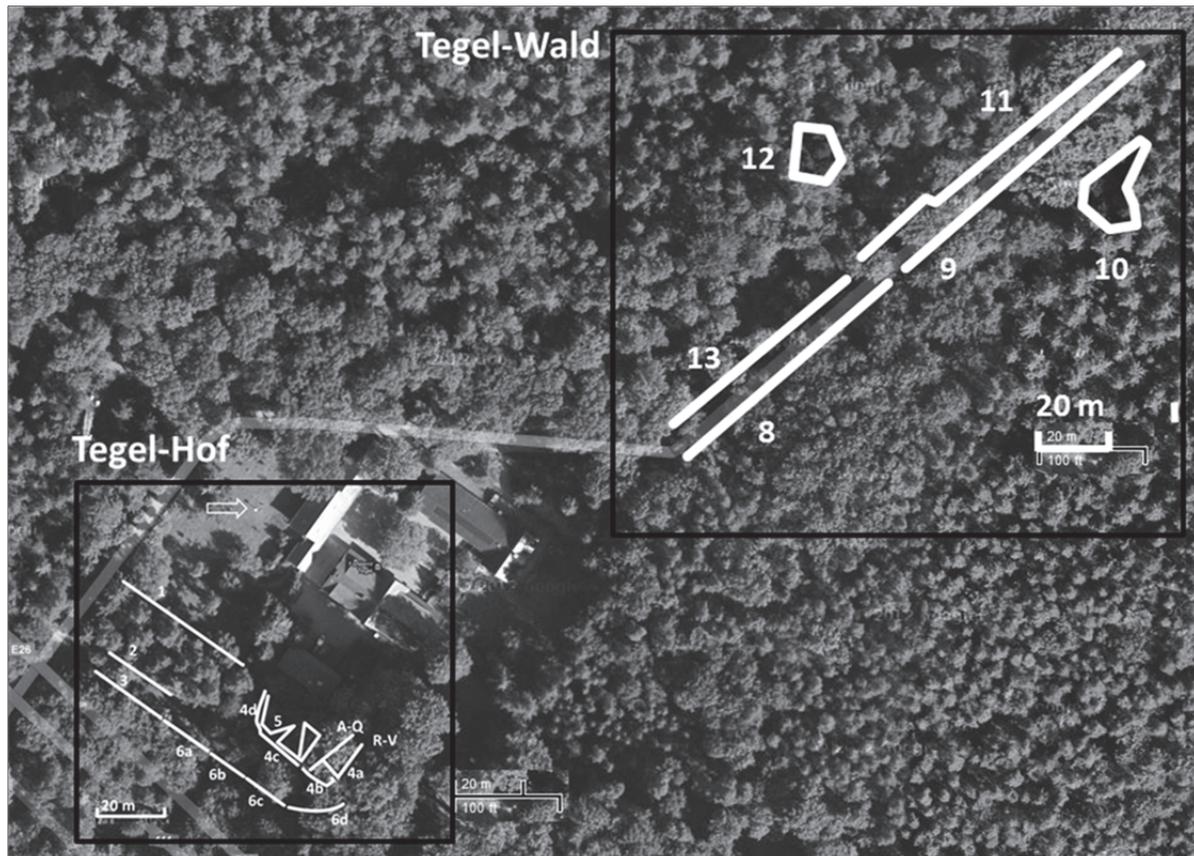
(Hof: 52°36'17.7"N 13°16'15.3"E, Höhe: 53,3 m; Wald: 52°36'22.1"N 13°16'24.4"E, Höhe: 67,5 m)

Dieser Standort mit einer Gesamtlänge aller Transekte (Nano, Mikro, Makro) von rund 720 m bestand aus zwei Untersuchungsgebieten: Dem öffentlich nur eingeschränkt zugänglichen Grundstück des Forstamts Tegel („Hof“) und dem öffentlich zugänglichen Waldabschnitt („Wald“) entlang des Hauptweges vom Forstamt ausgehend (Abbildung 5, Abbildung 6).

Der Hof-Abschnitt war durch eine Mischung aus verschiedenen Laubbäumen mit einem hohen Buchenanteil, mittelhoher bis hoher Bodenvegetation bis ca. 80 cm (u.a. Efeu, Springkraut, Details siehe Anhang: Tabelle 18) gekennzeichnet. Im Frühjahr und Herbst gab es auf den meisten Transekten einen dichten Belag mit Laub. Es fanden sich auch sandige Abschnitte, die fast nur mit Springkraut bewachsen waren, oft waren abgestorbene Äste und Zweige auf den Transekten zu finden. Die Sonneneinstrahlung variierte je nach Transektlage von sonnenbeschienen bis schattig.

Der Wald-Abschnitt lag entlang eines breiten Weges im Buchenmischwald. Teilweise wuchsen Ahorn- und Buchenschößlinge auf bestimmten Transekten (Vegetationshöhe: 10 – 80 cm). Die meisten Transekte im Wald waren mit Laub bedeckt. Insgesamt war es hier eher schattig mit größeren Sonnenflecken.

Die untersuchten Abschnitte auf dem Wirtschaftsgelände bestanden aus Nano-, Mikro- und Makrobereichen. Die Nano-Transekte hatten eine Gesamtlänge von 21 m. In dem Waldabschnitt befanden sich ausschließlich Makrotransekte. Die Klimastation des Stadtmessnetzes hatte einen Mindestabstand von rund 35 m (MaKS zu T1) und einem Maximalabstand von rund 279 m (MaKS zu T 11) zu den Untersuchungstransekten. An diesem Standort wurde ebenfalls eine Mikroklimastation aufgestellt. Diese war ca. 74 m von der Klimastation des Stadtmessnetzes entfernt.



**Abbildung 5: Gesamtübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- und Makro-Transekte und den Bereichen ‚Hof‘ und ‚Wald‘ (schwarzer Kasten) am Standort Tegel (Legende siehe Abbildung 6, Google Maps 2009)**

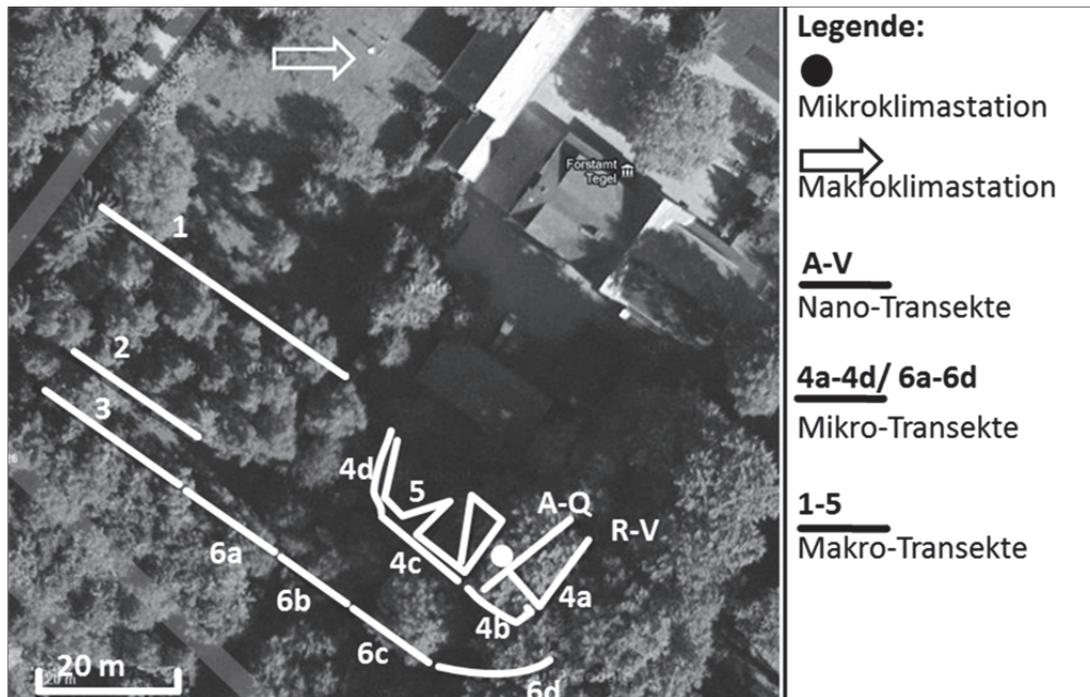


Abbildung 6: Teilübersicht für die beflaggten Nano-, Mikro- und Makro-Transekte im Bereich ‚Hof‘ am Standort Tegel (Google Maps 2009)

### 2.1.2.3 Wannsee

(52°24'48.0"N 13°06'32.1"E, Höhe: 62,8 m)

Der Standort Wannsee befand sich auf einem Privatgrundstück mit einer Gesamtlänge aller Transekte (Makro) von rund 547 m. Eine Wetterstation des Stadt-Messnetzes befand sich in ca. 1,4 km Entfernung. Da diese Station deutlich weiter vom Untersuchungsgebiet entfernt war als in Gatow und Tegel und auch aus organisatorischen Gründen, wurde hier keine Mikroklimatestation aufgestellt. Deshalb wurde ebenfalls keine Einteilung in Nano- und Mikrotransekte vorgenommen. Am Standort Wannsee gab es ausschließlich Makrotransekte. Dieser Untersuchungsstandort war deutlich kleiner als die beiden anderen, dementsprechend ist hier die durchschnittliche Transektlänge geringer. Die Besonderheit dieses Standortes ist der hohe anthropogene Einfluss, denn es handelte sich um einen Garten, der regelmäßig vom Besitzer gepflegt wurde. Die Wiesenabschnitte wurden im Schnitt alle zwei Wochen gemäht. Auf diesem Grundstück gab es viele Versteckmöglichkeiten für Nagetiere und Insekten durch große Aufhäufungen von Verschnitt und Holz. Dieser Standort war durch Wiesenflächen, zusammenhängende Baumgruppen, große Holzhaufen und einem breitflächigen Komposthaufen gekennzeichnet (Details siehe Anhang: Tabelle 19). Angrenzend an die Wiesenflächen gab es Baumgruppen mit vielen mehrjährigen und einjährigen Ahornsprosslingen. Auf dem Grundstück wuchsen Kiefern, Eiche, Ahorn, Birke und typische Gartenpflanzen und Ziergehölze. Der Standort war insgesamt sehr schattig und auch im Vergleich zu Gatow und Tegel der schattigste Standort.

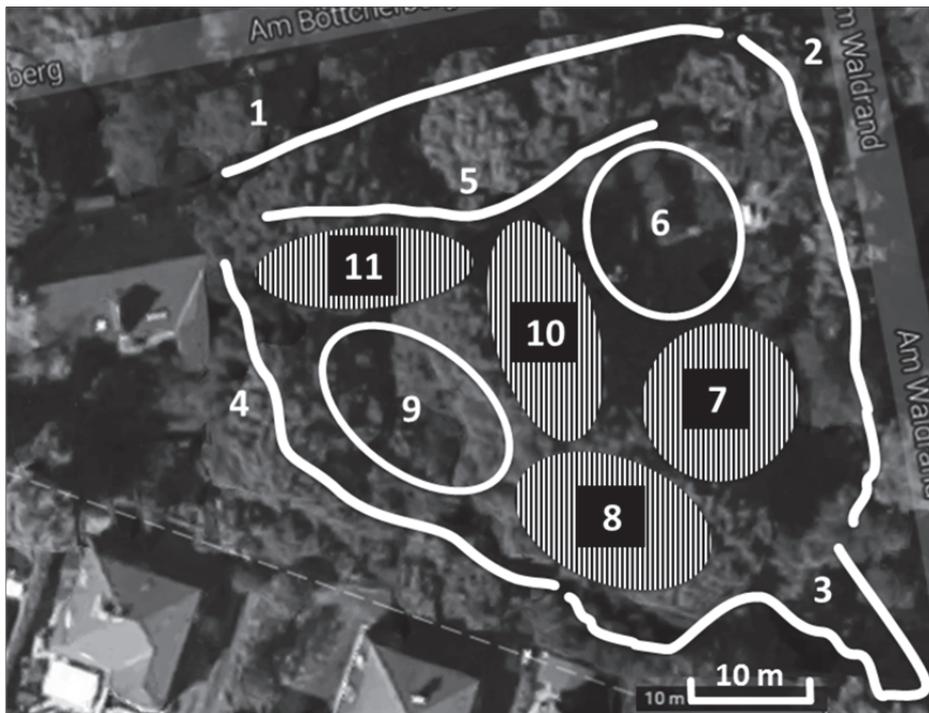


Abbildung 7: Gesamtübersicht für die beflaggten Makro-Transekte am Standort Wannsee (Google Maps 2012)

### 2.1.3 Sammelmethode

Das Beflaggen der drei Standorte Gatow, Tegel und Wannsee erfolgte in einem Abstand von ca. zwei Wochen, wetterabhängig über die Saison von März bis November in den drei Jahren 2010 bis 2012. Dabei wurde versucht, für die Beprobung möglichst die gleiche Tageszeit je Standort zu wahren, mit einem Abstand von maximal drei Tagen zwischen dem Beflaggen der einzelnen Standorte. Dies war nicht immer möglich, da außerdem die Vegetation möglichst trocken sein und auch der Wind möglichst gering sein sollte, damit beim Flaggen ähnliche Umweltbedingungen herrschten. Die Flagge wurde langsam über die bodennahe Vegetation gezogen. Nach maximal 20 Schritten – bei kürzeren Transekten am Ende des Transekts – wurde die Flagge umgedreht und sorgfältig auf Zecken untersucht.

Bei der Kontrolle der Flaggen wurden die Zecken gezählt und deren Art, Geschlecht und Stadium bestimmt. Sie wurden in 80%-igem Ethanol in 2 ml Sammelgefäßen für jedes Transekt getrennt aufbewahrt. Zeit, Datum, Standort, Transekt und Anzahl wurden auf jedem Sammelgefäß notiert. Zusätzlich wurden die Daten in einem schriftlichen Protokoll festgehalten und später digitalisiert (aufgenommene Parameter siehe Tabelle 3). Die nachträgliche Kontrolle der Stadien- und Speziesbestimmung sowie der Anzahl erfolgte im Labor mit einem Binokular (Leica, Bensheim; Tabelle 8).

**Tabelle 3: Aufgenommene Sammel-Parameter je Standort und Transekt**

	Parameter	Erklärung
Je Standort	Wolkentyp	nach Wolkenatlas der Meteorologie FU Berlin
	Bedeckungsgrad	Schätzung nach Augenmaß: 8/8 Einteilung
	Boden Feuchte	nach eigener Einschätzung: trocken, feucht, nass
	Vegetationsfeuchte	nach eigener Einschätzung: trocken, feucht, nass
	Sammler	AD (Alina Debski)
Je Transekt	Datum	Sammeltag
	Uhrzeit	Sammelzeit
	Transekt	Bezeichnung
	Spezies	<i>Ixodes ricinus</i> , <i>Dermacentor reticulatus</i>
	Stadium + Geschlecht	Nymphen, Männchen, Weibchen
	Anzahl	n
	Schatten	Schätzung nach Augenmaß: 8/8 Einteilung
	Vegetationshöhe	Augenmaß, geschätzt in cm
	Bemerkungen	hier wurden Bemerkungen zu Larvenfunden, Tieren oder Tierspuren aufgenommen, andere Auffälligkeiten

### **2.1.3.1 Mikro und Makro-Transekte:**

Die Mikro- und Makrotransekte wurden mit einem weißem Flanelltuch mit den Maßen 1x1,5 m beflaggt, welches mit der 1 m breiten Seite an einer Stange befestigt war. Nach 20 Schritten wurde die Flagge gewendet und die Zecken abgesammelt.

### **2.1.3.2 Nano-Transekte:**

Anders als im restlichen Untersuchungsgebiet erfolgte die Erfassung der Zeckenaktivität im Nanobereich nahe der Mikroklimastation mit einer eigens dafür entwickelten kleinskaligen, quadratmeterweisen Flaggmethode. Dabei hatte das Flanelltuch die Maße 1x1 m und war an einem T-förmigen Stangensystem befestigt, sodass die Flagge genau in einem 1x1 m großen Quadranten über die Vegetation bewegt werden konnte. Die Flagge wurde hier nach jedem Quadratmeter gewendet und die Zecken abgesammelt. Die methodischen Unterschiede erfordern es, die Zeckenaktivität dieses Bereichs getrennt vom restlichen Untersuchungsgebiet zu analysieren (siehe Abschnitt 2.4.5.).

## **2.2 Material**

### **2.2.1 Zecken (*I. ricinus*)**

Zur Untersuchung auf die Erreger der Lyme-Borreliose wurden ausschließlich wirtssuchende *I. ricinus* verwendet. Die Speziesbestimmung erfolgte nach Hillyard 1996.

### 2.2.1.1 Stichprobenwahl zur Prävalenzbestimmung

Die Stichprobengröße lag bei ungefähr 100 *I. ricinus* pro Stadium und Standort bezogen auf eine Saison. Dabei wurde darauf geachtet, Zecken annähernd gleichverteilt pro Transekt, Monat – und damit über die Saison – für die Untersuchung auszuwählen, um eine relativ gleichmäßige Verteilung auf Zeit (Sammeltermine) und Raum (Transekte) in der Stichprobe zu gewährleisten.

### 2.2.2 Chemikalien

Tabelle 4: Chemikalienübersicht

Bezeichnung	Hersteller
Agarose (Biozym LE Agarose)	Biozym Scientific GmbH, Wien, <a href="http://www.biozym.com">www.biozym.com</a>
Ammoniumpersulfat (APS Harnstoff)	Biozym Scientific GmbH, Wien, <a href="http://www.biozym.com">www.biozym.com</a>
<i>Aqua destillata</i> J.T. Baker Water	Mallinckrodt Baker B.V., Deventer, Holland
<i>Aqua destillata</i> B. Braun	Melsungen AG, Melsungen (für PAA-Gel)
Bromphenolblau Ladepuffer	Sigma Chemical Co., St.Louis, USA
Dimethylsulfoxid (DMSO 10%)	Sigma Chemical Co., St.Louis, USA; Sigma, Deisenhofen
DNA Erase™ (DNA Contaminant Removal Solution)	MP Biomedicals, Santa Ana, USA; <a href="http://www.mpbio.com/">www.mpbio.com/</a>
dNTP's	Perkin Elmer, Branchburg, USA; Applied Biosystems, Foster City, USA
Ethanol 100% (vergällt) (Reinigung)	Methylethylketon (MEK) Herbeta, Berlin
Ethanol 80% (vergällt)	Methylethylketon (MEK) Herbeta, Berlin
Ethanol 96% (rein)	EMPROVE®exp PhEur. BP C2H5OH, Merck KGaA, Darmstadt
Etidiumbromid	Amresco, Solon, USA; Sigma-Aldrich Chemie GmbH, Steinheim
Harnstoff (Urea) CH4N2O	M:30,06 g/mol, Dichte: 1,323, Carl Roth GmbH+Co.KG, Karlsruhe
Magnesiumchlorid (MgCl2)	QIAGEN GmbH – Germany, Hilden
Mineralöl (amresco Mineral Oil, Light, White)	AMRESCO LLC, Solon, USA ( <a href="http://www.amresco-inc.com/">www.amresco-inc.com/</a> )
PBS-Puffer 10x	Perkin Elmer, Branchburg, USA
PCR-Puffer 10x	PCR Kit, QIAGEN GmbH – Germany, Hilden
Polyacrylamid (Long Ranger™ Gel Solution)	Lonza Rockland, ME USA, 207-594-3400, <a href="http://www.lonza.com">www.lonza.com</a>
Proteinase K	QIAGEN GmbH – Germany, Hilden
Step-Ladder (DNS-Längenstandard 100bp)	Sigma Chemical Co., St. Lois, USA
TBE-Puffer Rotiphorese® 10x TBE-Puffer	Carl Roth GmbH+Co.KG, Karlsruhe
TEMED (NNN'N' Tetramethylethylen Diamin)	Sigma, Deisenhofen; BioRad, Richmond, USA
Taq-Polymerase	QIAGEN GmbH – Germany, Hilden

## 2.2.3 Lösungen

Tabelle 5: Lösungen

Lösung	Substanz	Konzentration
Ladepuffer Phenolblau (für Agarosegel)	Saccharose SDS Bromphenolblau	50% (w/v) 1,0% (w/v) einige Kristalle gelöst in TBE
TBE Puffer (für Sequenz, Gelelektrophorese)	10xTBE Puffer	1x (einfach konzentriert)
Ethidiumbromid-Färbelösung	Ethidiumbromid gelöst in <i>Aqua dest.</i>	1µg/ml
Agarosegel	Agarose 1x TBE Puffer	1,5g 100ml
DNA Erase		

## 2.2.4 Primer Übersicht

Tabelle 6: PCR Primer für die 16S- und Ospa-PCR

PCR	Primer	Sequenz
16S	äußere	5'-CTA ACG CTG GCA GTG CGT CTT AAG C- 3'16S1A
		5'-AGC GTC AGT CTT GAC CCA GAA GTT C-3' 16S1B
	innere	5'-AGT CAA ACG GGA TGT AGC AAT AC-3'16S2A
		5'-GGT ATT CTT TCT GAT ATC AAC AG-3'16S2B
Ospa	äußere	5'-GGT CTA ATA TTA GCC TTA ATA GCA TG- 3'OA1a
		5'-TCA GCA GCT AGA GTT CCT TCA AG- 3'OA1b
	innere	5'-CAT GTA AGC AAA ATG TTA GCA GCC- 3'OA2a
		5'-CTG TGT ATT CAA GTC TGG TTC C- 3'OA2b

Hersteller der 16S- und Ospa-Primer: TIB MOLBIOL Syntheselabor GmbH, Berlin; [www.tib-molbiol.de/de/](http://www.tib-molbiol.de/de/)

Sequenzprimer: analog zu Primersequenzen - mit Fluoreszenzfarbstoff IRD 700 bzw. IRD 800 konjugierte Primer zum Sequenzieren; Hersteller: IBA Nucleic Acids Synthesis, Göttingen; [www.iba-go.com](http://www.iba-go.com)

## 2.2.5 Kits

Tabelle 7: Übersicht der Kits

Bezeichnung	Hersteller	Inhalt
QIAmp® DNA Mini Kit	Qiagen, Hilden	Puffer: AE, AL, ATL, AW1, AW2 Protease K (600mAU/ml), Sammel Tubes (2ml), Mini-Spin-Säulen
QIAquick® PCR Purification Kit	Qiagen, Hilden	Puffer: PB, PE (Konzentrat); pH Indikator, Ladepuffer, Sammel Tubes (2 ml), QIAquick Spin-Säulen
Thermo Cycle Sequencing Kit	GE Healthcare	Reaktionspuffer, Polymerase (Sequense); A-, C-, G-, T-Terminatoren

Bezeichnung	Hersteller	Inhalt
Taq DNA-Polymerase Kit	Qiagen, Hilden	250 Einheiten Taq DNA Polymerase, 10x PCR Puffer, 10x CoralLoad PCR Buffer, 5x Q-Solution, 25 mM MgCl <sub>2</sub>

## 2.2.6 Geräte

Tabelle 8: Geräte und Materialien Übersicht

Bezeichnung	Hersteller
Binokular, Leica	Bensheim
Elektrophoresekammern	GIBCO BRL Life Technologies. Inc. Horizon58
Geldokumentation	UV Solo TS Imaging System, BIOMETRA, An Analytik Jena Company
Spannungsgeber	PowerPac HC, BIO-RAD
Sequenzierer	LIOR GeneReadIR 4200, Model Dual Dye, MWG-biotech, Ebersberg
Thermocycler	MJ Research, PTC-200, Peltier Thermal Cycler
Thermomixer 5436	Eppendorf, Hamburg
UV-Transilluminator (alt)	Model UVT 400.M, Ultraviolet Transilluminator 20x20 cm, International Biotechnologies, Inc. New Haven, USA
UV-Transilluminator UV-Solo (neu)	UV Solo TS Imaging System, BIOMETRA, An Analytik Jena Company
Werkbank 1 (PCR Ansatz 1 ohne DNA)	LABCAIRE PCR Workstation
Werkbank 2 (Isolation)	UVP, UV3 HEPA PCR WORKSTATION
Werkbank 3 (PCR Ansatz 2 mit DNA)	LABCAIRE PCR Workstation
Zentrifuge (Isolation)	Eppendorf Centrifuge 5417C

## 2.3 Labor/molekularbiologische Methoden

Ziel der durchgeführten molekularbiologischen Methoden war der Nachweis und die Genospeziesdifferenzierung von Lyme-Borrelien in den gesammelten Zecken. Der DNS-Nachweis erfolgte mittels verschachtelter PCR, die Genospeziesdifferenzierung durch Sequenzierung der Amplifikationsprodukte. Die einzelnen Prozessschritte wurden in getrennten Räumen durchgeführt, die dafür genutzten Werkbänke (Tabelle 8) wurden nach Nutzung mit DNA-Erase (Tabelle 5) und 30 min UV-Bestrahlung dekontaminiert.

### 2.3.1 DNS Extraktion

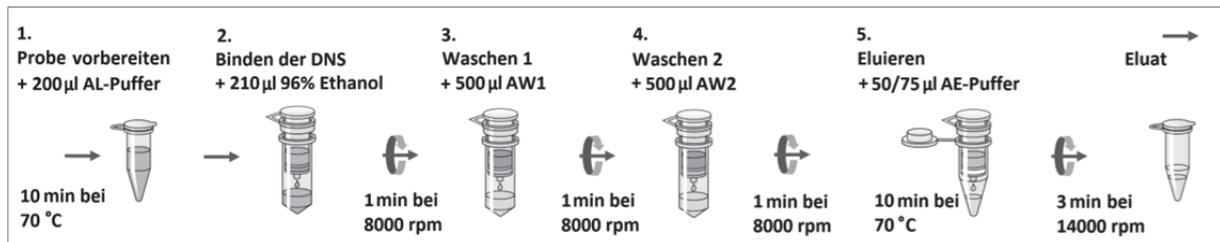
Die DNS-Extraktion erfolgte m.H. des QIAmp®DNA Mini Kits (Tabelle 7) nach Herstelleranweisung. Im ersten Schritt wurde die DNS durch Lyse von Zellbestandteilen zugänglich gemacht und im zweiten isoliert. Dies geschah durch Adsorption der DNS an einer Silikatmembran, zweimaliges Waschen zur Entfernung von nicht DNS-Bestandteilen und der abschließenden Elution zur Ablösung der DNS von der Silikatmembran.

### **2.3.1.1 Lyse**

Jede Zecke wurde einzeln in eine Lysislösung gegeben, bestehend aus 20 µl Proteinase K und 180 µl ATL-Puffer. Dafür wurden die Zecke unter einem Binokular (Tabelle 8) bestimmt und mit Hilfe von Dumont-Pinzetten Biologie No. 5 auf einem Objektträger zerteilt. Die Pinzetten wurden vor und nach jeder Zecke mit 100%-igem vergällten Alkohol (Tabelle 4) gereinigt und abgeflammt, um DNS Kontamination auszuschließen. Zum Abschluss wurden die abgeflamnten Pinzetten zweimal in die Negativkontrolle eingetaucht. Es gab je eine Negativkontrolle als Verlaufskontrolle zu einem Probenet von maximal 21 Proben. Die Inkubation erfolgte über Nacht bei 56 °C im Thermomixer (Tabelle 8) bei 850 upm (Umdrehungen pro Minute). Wenn danach keine Weiterverarbeitung folgte, wurden die Proben bei -20 °C aufbewahrt.

### **2.3.1.2 DNS-Isolation**

Die nun maximal 22 Proben wurden für die DNS-Isolation kurz abzentrifugiert (Werkbank 2, Zentrifuge: Tabelle 8), um DNS-Aerosolierung/Kontaminationen zu vermeiden und zur Vorbereitung mit jeweils 200 µl AL-Puffer versetzt, geschüttelt und für 10 min im Thermomixer bei 70 °C inkubiert (Abbildung 8). Anschließend wurden je 210 µl reiner Ethanol 96% (Tabelle 4) hinzugegeben, die Proben geschüttelt und kurz abzentrifugiert. Um die DNS an die Säulenmembran zu binden, wurde jeweils das gesamte Probenvolumen auf die Mini-Spin-Säulen mit 2 ml Sammelgefäßen pipettiert, und diese wurden für 1 min bei 8.000 upm (6797 x g) zentrifugiert. Für das erste Waschen wurden die Mini-Spin-Säulen auf ein neues 2 ml Sammelgefäß gesetzt, mit 500 µl AW1 Puffer versetzt und 1 min bei 8.000 upm (6797 x g) zentrifugiert. Darauf folgte ein zweiter Waschschrift mit 500 µl AW2 Puffer, hier wurde für 3 min mit 14.000 upm (20817 x g) „trocken“ zentrifugiert. Zum Abschluss erfolgte die Elution mit dem auf 70°C vorgewärmten AE-Puffer. Das gewählte Volumen für die Elution war vom Zeckenstadium abhängig: für Nymphen wurden 50 µl, für Adulte 75 µl Elutionspuffer eingesetzt. Dabei wurde der AE-Puffer direkt auf die Membran pipettiert, die Säulen bei 70°C für 10 min inkubiert und anschließend bei 8.000 upm (6797 x g) für 1 min zentrifugiert. Das Eluat mit der DNS wurde entweder bei -20 °C eingefroren oder direkt in der PCR eingesetzt.



rpm: rounds per minute = upm: Umdrehungen pro Minute

Abbildung 8: Schritte der DNS Extraktion mit QIAamp®DNA and Blood Mini Kit (Abb. angepasst nach Nutzerhandbuch (o.A. 2012))

### 2.3.2 PCR

Für den Nachweis von Spirochäten-DNS wurde routinemäßig eine verschachtelte 16S-PCR durchgeführt. Diese sensitive Methode detektiert mindestens eine Spirochäte je Probe, selbst in Anwesenheit von Zecken- und Wirts-DNA (Richter und Matuschka 2010). Bei der verschachtelten 16S-PCR wird ein Genfragment der 16S-rRNA mit Hilfe von äußeren und inneren Primern in zwei Runden amplifiziert. In der ersten Runde mit den äußeren Primern ist das Nukleotidstück 721 bp lang, in der zweiten Runde mit den inneren Primern 654 bp (Ohlenbusch 1996; Richter et al. 2003, S. 698). Da *B. bavariensis* von *B. garinii* in der 16S-Sequenz nicht abzugrenzen ist, wurde zusätzlich für *B. garinii* positive Proben eine verschachtelte OspA-PCR angesetzt. Bei der verschachtelten OspA-PCR wird das „outer surface protein A“ (Oberflächenprotein A) ebenfalls über zwei Runden amplifiziert. In der ersten Runde ist das Nukleotidstück 496 bp lang, in der zweiten Runde 398 bp (Ohlenbusch 1996; Richter et al. 2004b, S. 6415). Der Ansatz für den Mastermix erfolgte immer in einem anderen Raum, getrennt von der DNS-Zugabe. Als Positivkontrolle diente DNS aus *B. bavariensis*-Kultur, zusätzlich wurde nach jeder fünften Probe eine Negativkontrolle bestehend aus *Aqua dest.* mitgeführt. Die Reaktionen beider PCR-Arten wurden im Thermocycler (Tabelle 8) mit beheiztem Deckel durchgeführt, das Abkühlen und Aufheizen zwischen den einzelnen Phasen geschah mit maximal 1 °C pro Sekunde.

#### 2.3.2.1 16S-PCR

Das Gesamtreaktionsvolumen von 50 µl pro Probe setzte sich zusammen aus 2 µl DNS und 48 µl Mastermix. In diesem waren als Basis, bezogen auf 50 µl je 200 µM dNTP's, 5 µl zehnfach Puffer, 1 U Taq-Polymerase, *Aqua dest.* ad 50 µl und je nach Runde veränderliche Konzentrationen von MgCl<sub>2</sub> und Primern. In der ersten Runde waren je 15 pmol des äußeren Primerpaares (Tabelle 6) und kein MgCl<sub>2</sub> enthalten, in der zweiten Runde waren es je 20 pmol des inneren Primerpaares und 1,5 mM MgCl<sub>2</sub>. In der ersten Runde erfolgte für 1 min die Erwärmung auf 94 °C, gefolgt von 30 Zyklen mit: 20 s Denaturierung bei 94 °C, 20 s Anlagerungsreaktion bei 63 °C und 40 s Kettenverlängerung bei 72 °C. Nach dem letzten Zyklus folgte für 2 min ein abschließender Verlängerungsschritt bei 72 °C und die Proben

wurden danach auf 14 °C abgekühlt. Für die zweite PCR-Runde wurden 2 µl des 1. Runde-Produkts in den Mastermix mit dem inneren Primerpaar gegeben und für 35 Zyklen in den Thermocycler verbracht. In der zweiten Runde betrug die Anlagerungstemperatur jedoch 56 °C und die Kettenverlängerung während der 35 Zyklen war 10 s kürzer, alle anderen Parameter blieben unverändert. Falls die PCR-Produkte nicht weiter verarbeitet wurden, wurden sie bei -20 °C gelagert.

### **2.3.2.2 *OspA*-PCR**

Auch hier setzte sich das Gesamtreaktionsvolumen von 50 µl zusammen aus 2 µl DNS und 48 µl Mastermix. Im Unterschied zur 16S-PCR enthielt der Mastermix kein MgCl<sub>2</sub> und die Konzentrationen der inneren und äußeren Primer (Tabelle 6) war gleich für beide Runden mit je 10 pM. Alle anderen Konzentrationen waren dieselben, wie oben für die 16S-PCR beschrieben. Die erste Runde im Thermocycler verlief ähnlich der der 16S-PCR mit 40 Zyklen, wobei jedoch die Anlagerungsreaktion bei 60 °C stattfand und die Kettenverlängerung 30 s dauerte. In der zweiten Runde lag die Temperatur der Anlagerungsreaktion bei 59 °C, die Kettenverlängerung während der 40 Zyklen dauerte 20 s, alle anderen Parameter blieben unverändert.

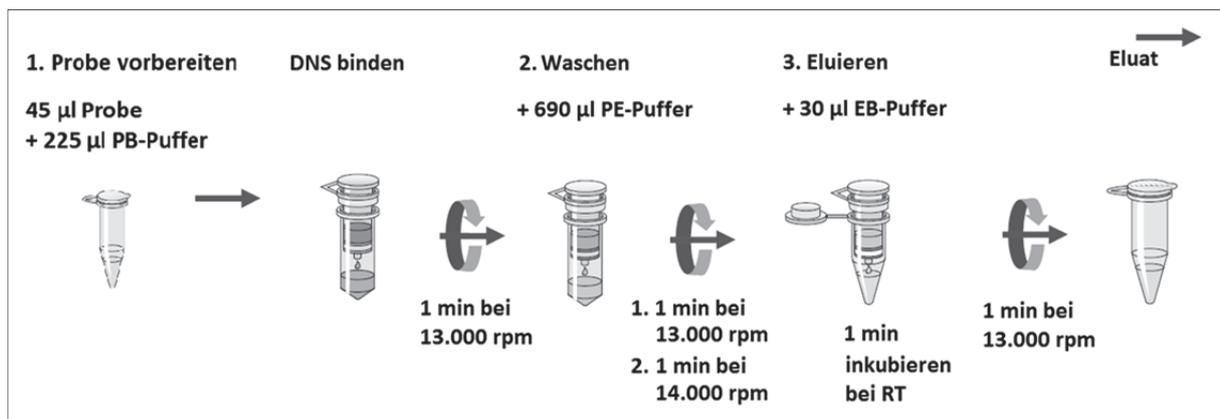
### **2.3.3 Agarose-Gelelektrophorese**

Um PCR-Produkte sichtbar zu machen, wurden pro Tasche 5 µl PCR Produkt mit 1 µl Ladepuffer auf ein 1,5%-iges Agarosegel (Tabelle 5) aufgetragen und für 30 min bei 100 V elektrophoretisch aufgetrennt. Anschließend wurde das Träger-Gel für 30 min in Ethidiumbromidlösung (1 µg/ml, Tabelle 5) gefärbt. Aufgrund der Eigenschaft von Ethidiumbromid, sich in die Helix-Struktur der DNS einzulagern und unter UV-Einfluss zu fluoreszieren, konnten die DNS-Banden nun auf einem UV-Transilluminator (Tabelle 8) sichtbar gemacht und fotografiert werden. Bis Ende 2010 wurde dazu das gefärbte Agarose-Gel auf den UV-Transilluminator gelegt, mit UV-Licht einer Wellenlänge von 311 nm durchleuchtet und einer Polaroid-Kamera mit Polaroidfilm 667 fotografiert. Ab 2011 wurde ein digitales Aufnahmeverfahren eingeführt, das Prinzip blieb dasselbe (Tabelle 8).

### **2.3.4 PCR-Produktaufreinigung für Sequenzierung**

Zur Gewinnung eines reinen DNS-Produktes wurde eine Aufreinigung der PCR-Produkte aus der 2. Runde mit Hilfe des QIAquick® PCR Purification Kits (Tabelle 7) durchgeführt. Dabei wurden über Adsorption des DNS-Produkts an einer Silikatmembran ungebundene Primer entfernt, der Puffer gewechselt und im letzten Schritt nur die pure DNS eluiert (Abbildung 9). Im ersten Schritt wurden die 45 µl Probe mit 225 µl PB-Puffer versetzt, geschwenkt, abzentrifugiert und jeweils das gesamte Probenvolumen auf die Mini-Spin-Säulen mit 2 ml Sammelgefäßen übertragen. Diese wurden für 1 min bei 13.000 upm (17949 x g)

zentrifugiert. Anschließend wurden die Säulen auf 2 ml Sammelgefäße übertragen. Im zweiten Schritt wurden diese mit 690 µl PE-Puffer gewaschen, für 1 min bei 13.000 upm (17949 x g) zentrifugiert und für 1 min bei 14.000 upm (20817 x g) „trocken“ zentrifugiert. Im dritten Schritt wurden, nach Übertragen der Säulen auf 1,5 ml Eppendorf Gefäße, je 30 µl EB-Puffer direkt auf die Membran pipettiert, die Säulen für 1 min bei Raumtemperatur inkubiert und anschließend für 1 min bei 13.000 upm (17949 x g) zentrifugiert. Die so eluierte DNS konnte nun für die Sequenzreaktion weiter verwendet oder bei -20 °C aufbewahrt werden.



rpm: rounds per minute = upm: Umdrehungen pro Minute

Abbildung 9: Schritte der PCR-Produktaufreinigung mit QIAquick® PCR Purification Kit (Abb. angepasst nach Nutzerhandbuch (o.A. 2015b))

### 2.3.5 Sequenzreaktion

Die Sequenzreaktion basiert auf der Didesoxyterminationsmethode nach Sanger. Dabei wurden vier Reaktionsgemische mit je einem ddNTP angesetzt, jedes Gemisch wurde in einer eigenen Spur auf einem Polyacrylamidgel elektrophoretisch aufgetrennt. Die Sequenzreaktion wurde mit dem Thermo Cycle Sequencing Kit durchgeführt (Tabelle 7). Für jede Probe wurden in einer 96-Loch-Mikrotiterplatte vier Reaktionsgemische angesetzt, sie enthielten je 2 µl der A-, C-, G-, T-Terminatoren und 5 µl des Sequenzansatzes, der sich aus folgenden Bestandteilen zusammensetzte: Je 2 µl der auf 4 pmol verdünnten Primer (Tabelle 6), 12 µl Mastermix und 9 µl bis zu maximal 3,5-fach verdünnter DNS. Die Primer (Tabelle 6) waren mit IRD-700 oder IRD-800 konjugiert, ihre Sequenzen entsprachen denen der inneren Primer der vorangegangenen PCR. Der Mastermix bestand aus 156 µl *Aqua dest.* und 48 µl DMSO 10% (Tabelle 4). Die Verdünnung der DNS mit *Aqua dest.* hing von der ursprünglichen Bandenstärke nach der PCR ab, die Standardverdünnung war 7 µl *Aqua dest.* und 2 µl DNS. Abschließend wurde als Verdunstungsschutz je 1 Tropfen Mineralöl auf das Reaktionsgemisch pipettiert und die Platte mit einem Mikro-Abdichtungs-Film (Biozym, Berlin) verschlossen. Für die anschließende Sequenzreaktion im Thermocycler (Tabelle 8)

wurde folgendes Programm benutzt: 1 min Denaturierung bei 95 °C, gefolgt von 20 Zyklen mit jeweils 20 s Denaturierung bei 95 °C, 1 min Anlagerung bei 59 °C und 1,5 min Verlängerung bei 65 °C, danach Kühlung bei 14 °C. Anschließend wurde die Reaktion mit 9 µl Ladepuffer abgestoppt (Tabelle 7) und für die Sequenzierung weiter verwendet oder bei -20 °C aufbewahrt.

### **2.3.6 Elektrophorese der Sequenzprodukte**

Um die kurzkettigen Produkte der Sequenzreaktion mit Hilfe des Sequenzierers aufzutrennen, wurde ein 2 mm starkes 6%-iges Polyacrylamidgel gegossen (Tabelle 4, Tabelle 8). Hierzu wurden 25 ml 6%-iges Polyacrylamid mit 117 µl 10% APS und 16,6 µl TEMED versetzt, gemischt und mit einer Einmalpipette zwischen die zuvor gereinigten Glasplatten des Gelapparates pipettiert. Die Glasplatten wurden mit *Aqua dest.*, 80%-igem und zuletzt mit 100%-igem Alkohol gereinigt. Zur Formung einer Geltasche wurde die glatte Seite des Kammes oben zwischen die Glasplatten geschoben und nach 90 min Polymerisationszeit wieder entfernt. Anschließend konnte der Gelapparat in den Sequenzierer eingehängt und die Puffertanks mit 1-fach konzentriertem TBE-Puffer aufgefüllt werden (Tabelle 5). Nach ca. 15 min Vorlauf des Sequenzierers bei 2000 V wurde für die Probenvertiefungen der 64-zinkige Haifischzahnkamm in die Gelkante eingeschoben. Vor dem Auftragen der Proben wurden diese in der Mikrotiterplatte für 20 min bei 60 °C aufgetaut und denaturiert. Ungefähr je 1 ml der Proben wurde nun mit Hilfe einer 0,4 mm starken 8-Kanal-Hamilton-Pipette in die Hohlräume zwischen den Zinken pipettiert. Der Sequenzlauf erfolgte bei einer konstanten Spannung von 2000 V bei 45 °C (Stromstärke 35 mA). Die Dauer der Sequenzierung lag bei den 16S-PCR-Produkten bei ca. 6 Stunden, bei den OspA-PCR-Produkten bei ca. 3,5 Stunden.

### **2.3.7 Sequenzauswertung**

Mit Hilfe der Sequenz der amplifizierten Genfragmente und ihrem Vergleich mit in GenBank hinterlegten Sequenzen der Typenstämme bzw. charakteristischer Stellvertreter (s.u. 16S PCR, OspA PCR) konnten die einzelnen Genospezies bestimmt werden. Für die Sequenzauswertung wurde zur Bandenmarkierung das Programm BaselmageIR und zum Sequenzvergleich AlignIR der Firma Lior genutzt. Dafür wurde jede einzelne Probe auf Richtigkeit der markierten Banden kontrolliert und bei Bedarf manuell korrigiert. Anschließend wurden diese zusammen mit den Vergleichssequenzen in AlignIR geladen, welches die Sequenzen als Farbband darstellte. Dabei hatten die A-, C-, G-, T-Basen eine festgelegte Farbmarkierung. Doppelbanden, die die Anwesenheit zwei verschiedener Basen auf derselben Höhe kennzeichneten, wurden mit einer anderen Farbe dargestellt und einem eigenen Buchstaben, je nach Basenkombination. Beim Vergleich der untersuchten Proben mit den Vergleichs-Sequenzen war zur Genospeziesbestimmung eine vollständige

Übereinstimmung der Banden gefordert, mit einer Abweichung von maximal zwei Nukleotiden. Es wurden die folgenden Vergleichssequenzen zur Genospeziesbestimmung genutzt:

**16S PCR:** GenBank Zugangsnummern für: *B.burgdorferi* sensu stricto (X85196, X85203), *B.afzelii* (X85190, X85192, X85194), *B.garinii* (X85193, X85199, M64311), *B.lusitaniae* (X98228, X98229), *B.valaisiana* (X98232, X98233), *B.spielmanii* (AY147008), *B.miyamotoi* (AY253149) (Richter und Matuschka 2010)

**OspA PCR:** *B. burgdorferi* sensu stricto (EMBL Zugangsnummer X80182), *B. afzelii* (EMBL Zugangsnummer X80185), verschiedene Serotypen von *B. garinii* (GenBank Zugangsnummern S48323, X80256, X80257, X80186, X85441, X80251, X80252, X80254), *B. valaisiana* (Zugangsnummer AB016979 [DDBJ] und AF095943 [GenBank]), A14S (GenBank Zugangsnummer AF102057) (Richter et al. 2004b)

## 2.4 Statistik

Je nach Ansatz wurden die Daten entweder für den gesamten Standort betrachtet, also für Nano-, Mikro- und Makrotransekte zusammen oder getrennt nach Nano-Bereich und Mikro- & Makro-Bereich. Dabei wurden in allen drei Untersuchungsjahren (2010-2012) nur Daten im Zeitraum von März bis einschließlich Oktober für die Berechnung genutzt. Im Folgenden werden die einzelnen Betrachtungsweisen und die entsprechenden Berechnungen aufgeführt. Die Dateneingabe erfolgte in Excel (Microsoft Office Professional 2010 © 2010), die Auswertung in R (R Core Team 2014) und SaTScan™ (Kulldorff 2005).

### 2.4.1 Grafiken

Die Grafiken zu den Dichtevergleichen wurden in R<sup>®</sup> mit „ggplot2“ erstellt (R Core Team 2014; Wickham 2009). Für eine bessere Übersicht wurde die y-Achse bei Bedarf mit Hilfe der Quadratwurzel [+ coord\_trans(y="sqrt")] transformiert.

### 2.4.2 Normierte Dichten

Es gab unterschiedlich viele Sammelereignisse in den jeweiligen Jahren und Standorten, unter anderem auch witterungsbedingt. Daher war die Berechnung der *normierten Dichten* notwendig, um die Dichten aller Standorte und Jahre miteinander vergleichbar zu machen. Die normierten Dichten eines Jahres und Standortes wurden entweder je Transekt (Strecke) oder für den gesamten Standort über alle Transekte berechnet. Für die Berechnung der normierten Dichte je Transekt wurden die Jahresgesamtdichten der einzelnen Transekte (Strecken) durch die Anzahl der Sammelereignisse des Jahres dividiert (Formel 1). Analog geschah dies für die Jahresgesamtdichten der einzelnen Standorte über alle Transekte

(Formel 2). Die entsprechende Berechnung erfolgte in R<sup>®</sup> (R Core Team 2014) je nach Betrachtung getrennt für Mikro- & Makro-Bereiche und Nano-Bereich (3.2).

**Formel 1: Berechnung der normierten Jahresgesamtdichte pro Transekt (Strecke) eines Standortes**

$$D_{norm_s} = \frac{1}{n_a} \sum_{i=1}^{n_a} \frac{x_i}{s}$$

$D_{norm_s}$ : normierte Dichte der Einzelstrecke pro Jahr [n/m<sup>2</sup>]

$n_a$ : Anzahl der Sammeltermine pro Jahr

$s$ : Streckenlänge x Streckenbreite [m<sup>2</sup>]\*

$x_i$ : Anzahl der Zecken pro Sammelereignis und Strecke

$i$ : Laufindex

\* Die Streckenlänge wird in m<sup>2</sup> angegeben, da sie die Länge x [m] und die Breite 1 m besaß, was durch die Flaggenbreite von 1 m definiert wurde.

**Formel 2: Berechnung der normierten Jahresgesamtdichte eines Standortes über alle Transekte**

$$D_{norm} = \frac{1}{n_a} \left[ \frac{\sum_{i=1}^{n_a} x_i}{\sum_{i=1}^{n_s} s_i} \right]$$

$D_{norm}$ : normierte Dichte des Standortes pro Jahr [n/m<sup>2</sup>]

$n_s$ : Anzahl der Strecken (Transekte) im Standort

**2.4.3 Relative Anteile**

Die Berechnung der relativen Anteile diente dazu, die reine Zeckenaktivität je Transekt (räumliche Betrachtung) oder Sammelereignisses (saisonale Betrachtung) unabhängig von der absoluten Dichte der Zecken darzustellen. In der grafischen Umsetzung der relativen Anteile wurden damit die Zecken-Anteile jedes Transektes bzw. Sammelereignisses im Standort an der Gesamtzeckenaktivität dargestellt. Wenn die räumlichen Verteilungsmuster der Zecken im Vordergrund standen, ließ sich die Aktivität je Transekt auch zwischen Jahren vergleichen, in denen die Dichte möglicherweise stark variierte. Idealerweise ließen sich so Verzerrungen in der Betrachtung vermeiden und eine Aussage zu den Verteilungsmustern je Transekt verdeutlichen. Es war jedoch wichtig, die relativen Anteile nie ohne den Bezug zu den tatsächlichen Dichten zu betrachten.

Die relativen Anteile wurden nur für den Mikro- & Makro-Bereich berechnet. Für die Berechnung wurden – je Standort und Jahr – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Jahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert (Formel 3). Die Summe der relativen Anteile pro Strecke (= Transekt) über alle Strecken ergibt 100%. Die Berechnung der relativen Anteile zur saisonalen Betrachtung je Sammelereignis erfolgte analog.

**Formel 3: Berechnung der relativen Zeckenanteile je Transekt eines Standortes**

$$A_{rel} = \left[ \frac{D_{normS}}{D_{norm}} \right] * 100\%$$

$A_{rel}$ : relativer Anteil der Zecken je Transekt Standort und Jahr [%]

$D_{normS}$ : normierte Dichte der Einzelstrecke pro Jahr (Berechnung siehe Formel 1)

$D_{norm}$ : normierte Dichte des Standortes pro Jahr (Berechnung siehe Formel 2)

Die Grafiken zu den relativen Anteilen wurden in R<sup>®</sup> mit „ggplot2“ erstellt (R Core Team 2014; Wickham 2009).

#### **2.4.4 Dichtevergleich für Mikro- & Makro- und Nano-Bereiche**

In diesem Abschnitt werden die durchgeführten Vergleiche der normierten Dichten abhängig von der Fragestellung kurz erläutert. Die normierten Dichten wurden immer für Mikro- & Makro- und Nano-Bereiche separat berechnet. Die Nullhypothese wird aufgeführt. Prinzipiell wurde in den Post-Hoc Tests die Holm-Korrektur als p-Wert Anpassung bzw. Fehlerkorrektur genutzt. Die Holm-Korrektur dient der Kontrolle der „familywise error rate“ (FWER). Die FWER beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von einem oder mehr Typ I Fehlern unter allen Hypothesen, wenn multiple Hypothesen Tests durchgeführt werden (Victor et al. 2010).

##### **2.4.4.1 Jahresvergleich aller drei Standortdichten zusammenaddiert Mikro- & Makro**

Um die Aktivität von Nymphen und Adulten zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 standortunabhängig miteinander zu vergleichen, wurden die normierten Jahresgesamtdichten über alle Standorte Gatow, Tegel und Wannsee berechnet und mit dem Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest) und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) für alle drei Jahre in R<sup>®</sup> gegeneinander getestet (`kruskal.test(Dichte ~ Jahr)`, `pairwise.wilcox.test(Dichte, Jahr, p.adj="holm")`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt (3.2.1).

Dies ist eine zeitliche Betrachtung ohne Bezug zum Raum. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Gesamtdichten über die drei Standorte zwischen den Jahren.“

#### **2.4.4.2 Standortvergleich über drei Jahre zusammen**

**Mikro & Makro:** Für den standortabhängigen Vergleich von wirtssuchenden Nymphen und Adulten wurden deren Gesamtdichten von 2010 bis 2012 unter den Standorten Gatow, Tegel, Wannsee mit dem Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest) und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) in R<sup>®</sup> miteinander verglichen (`kruskal.test(Dichte ~ Ort)`, `pairwise.wilcox.test(Dichte, Ort, p.adj="holm")`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt (3.2.2).

Dies ist eine räumliche Betrachtung ohne Bezug zur Zeit. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Mikro- & Makro-Gesamtdichten über die drei Jahre zwischen den Standorten.“

**Nano:** Die Durchführung der Tests erfolgte analog zu den Tests von Mikro & Makro. Für den standortabhängigen Aktivitätsvergleich von wirtssuchenden Nymphen bzw. Adulten, wurden deren Nano-Gesamtdichten von 2010 bis 2012 zwischen den Standorten Gatow<sub>N</sub> und Tegel<sub>N</sub> mit dem Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test miteinander verglichen (`kruskal.test(Dichte ~ Ort)`, `pairwise.wilcox.test(Dichte, Ort, p.adj="holm")`, 3.5.1).

Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Nano-Gesamtdichten über die drei Jahre zwischen den Standorten.“

#### **2.4.4.3 Aktivitätsvergleich zwischen den Jahren im Standort**

**Mikro & Makro:** Um zu bestimmen, ob sich die Aktivität von Nymphen und Adulten eines Standortes zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 unterscheidet, wurden die Jahresgesamtdichten je Jahr und im jeweiligen Standort Gatow, Tegel und Wannsee im Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest) und ungepaarten Wilcoxon Rangsummen Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) in R<sup>®</sup> miteinander verglichen (`kruskal.test(Dichte ~ Jahr)`, `pairwise.wilcox.test(Dichte, Jahr, p.adj="holm")`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt (3.2.3).

Dies ist eine zeitliche Betrachtung; sie ist ortsabhängig. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Mikro- & Makro-Gesamtdichten eines Standortes zwischen den Jahren.“

**Nano:** Um zu bestimmen ob sich die Aktivität von Nymphen bzw. Adulten im Nano-Standort (Gatow<sub>N</sub>, Tegel<sub>N</sub>) zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 unterschied, wurden je die

Nano-Jahresgesamtdichten eines Standortes und Stadiums im Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon Rangsummen Test miteinander verglichen (`kruskal.test(Dichte ~ Jahr)`, `pairwise.wilcox.test(Dichte, Jahr, p.adj="holm")`), 3.5.2).

Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Nano-Gesamtdichten eines Standortes zwischen den Jahren.“

#### **2.4.4.4 Zeitliche Betrachtung: Saisonale Verläufe im Vergleich**

Um die saisonale Aktivität der wirtssuchenden Nymphen und Adulten innerhalb eines Jahres (2010, 2011, 2012) und Standortes (Gatow, Tegel, Wannsee) zu untersuchen, wurden die Sammeldichten im gepaarten Friedman-Test (Omnibustest) und gepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) **je Sammelereignis** miteinander verglichen (`friedman.test(Dichte ~ Datum | Strecke)`; `pairwise.wilcox.test(Dichte, Datum, p.adj="holm", exact=F, paired=T)`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt. Damit für Gatow 2010 ebenfalls die gepaarten Tests durchgeführt werden konnten, wurde der erste Sammeltermin 26.03.2010 nicht berücksichtigt, an diesem Tag existierten die Transekte 10, 11, 12 noch nicht (3.3).

Dies ist eine zeitliche Betrachtung über die Saison; sie ist ortsabhängig. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Tagessammeldichten eines Jahres im Standort.“

#### **2.4.4.5 Räumliche Betrachtung: Streckenvergleich im Jahr und Standort**

Um das räumliche Vorkommen von wirtssuchenden Nymphen und Adulten bezogen auf die Habitatsstrukturen innerhalb eines Standortes (Gatow, Tegel, Wannsee) zu betrachten, wurden die Sammeldichten je Jahr (2010, 2011, 2012) und Standort im gepaarten Friedman-Test (Omnibustest) und gepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) **je Transekt** miteinander verglichen (`friedman.test(Dichte ~ Transekt | Datum)`; `pairwise.wilcox.test(Dichte, Transekt, p.adj="holm", exact=F, paired=T)`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt. Damit für Gatow 2010 ebenfalls die gepaarten Tests durchgeführt werden konnten, wurde der erste Sammeltermin 26.03.2010 nicht berücksichtigt, an diesem Tag existierten die Transekte 10, 11, 12 noch nicht. Diese Tests wurden ebenfalls analog mit den relativen Anteilen je Transekt durchgeführt, die Ergebnisse waren vergleichbar und werden daher in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt (3.4).

Dies ist eine räumliche Betrachtung, innerhalb eines Jahres und Standortes. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Dichten je Transekt innerhalb eines Jahres.“

#### 2.4.4.6 Räumliche Standort-Heterogenität der Zeckenaktivität: Streckenvergleich alle Jahre zusammen

Um den Grad der Unterschiedlichkeit in der räumlichen Verteilung von Nymphen bzw. Adulten im Standort (Gatow, Tegel, Wannsee) zu bestimmen und damit einen Vergleich *zwischen* den Standorten zu ermöglichen, wurden zwei Betrachtungsansätze entwickelt, einmal rechnerisch und einmal grafisch (3.4.2).

##### Rechnerischer Ansatz

Für den rechnerischen Ansatz wurden die Dichten je Transekt und Standort über die drei Jahre (2010 – 2012) zusammen betrachtet und miteinander im Friedman-Test verglichen. Dazu wurden die Sammeldichten (2010 – 2012) im gepaarten Friedman-Test (Omnibustest) und gepaarten Wilcoxon- Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) **je Transekt** miteinander verglichen (`friedman.test(Dichte ~ Transekt | Datum)`; `pairwise.wilcox.test(Dichte, Transekt, p.adj="holm", exact=F, paired=T)`). Die Tests wurden jeweils für Nymphen und Adulte durchgeführt. Damit für alle Standorte ein gepaarter Test durchgeführt werden konnte, wurde die Berechnung in Gatow ohne die Transekte 10-12 durchgeführt. Hintergrund dafür war, dass die Transekte 10, 11, 12 in 2010 noch nicht in a und b aufgeteilt waren. Diese Tests wurden ebenfalls analog mit den relativen Anteilen je Transekt durchgeführt, die Ergebnisse waren vergleichbar und werden daher in der Arbeit nicht weiter berücksichtigt.

Dies ist eine räumliche Betrachtung, ohne Bezug zur Zeit. Die Nullhypothese ( $H_0$ ) lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Dichten je Transekt über die drei Jahre zusammen betrachtet.“

Anschließend wurde die Zahl der signifikanten Streckenpaare des Post-Hoc-Tests ( $n_{PHT}$ ) durch die Anzahl der getesteten Transekte ( $n_T$ ) dividiert, mit Hilfe dieses Standort-Quotienten ( $Q_x$ ) können nun Aussagen über die Unterschiedlichkeit der Standorte getroffen werden (Formel 4).

##### Formel 4: Berechnung des Standortheterogenitäts-Quotienten ( $Q_x$ ) eines Standortes

$$Q_x = \frac{n_{PHT}}{n_T}$$

$Q_x$ : Standortheterogenitäts-Quotient

$n_{PHT}$ : Anzahl der signifikanten Streckenpaare im Post-Hoc-Test

$n_T$ : Anzahl der getesteten Transekte

## Grafischer Ansatz

Für die grafische Darstellung wurden über die drei Jahre die Mittelwerte der Dichten aller Sammelereignisse je Transekt und Standort getrennt für Nymphen und Adulte in R<sup>®</sup> berechnet, anschließend wurden diese „Strecken-Mittelwerte“ im Boxplot gegeneinander aufgetragen. Die Grafiken dazu wurden in R<sup>®</sup> mit „ggplot2“ erstellt (R Core Team 2014; Wickham 2009). Für eine bessere Übersicht wurde die y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel [`+ coord_trans(y="sqrt")`] transformiert.

### 2.4.5 Nano SaTScan™-Analyse

Die methodischen Unterschiede machten es im kleinräumigen Nano-Bereich notwendig, die Zeckenaktivität getrennt vom restlichen Untersuchungsgebiet zu analysieren. Zusätzlich ermöglichten sie einen anderen Ansatz der statistischen Auswertung, nämlich die Clusteranalyse mit dem Programm SaTScan™ (Kulldorff 2005; Goethert und Telford 2009). Die Untersuchungen mit dieser freien Software können rein räumlich (also ohne zeitlichen Aspekt), rein zeitlich (also ohne räumlichen Aspekt) oder als Raum-Zeit-Analyse durchgeführt werden. In dieser Arbeit werden nur die rein räumlichen Analysen vorgestellt, da Analysen mit zeitlichem Bezug aufgrund der geringen Zeckenzahlen im Nano-Bereich nicht sinnvoll waren. Die Ergebnisse der räumlichen SaTScan™-Analysen wurden zur Visualisierung auf maßstabsgerechte schematische Abbildungen der Nanobereiche übertragen. Für die Clusterberechnung nutzt SaTScan™ ein zirkuläres Fenster (stetiges Poisson Modell), welches sich durch den Raum bewegt, um Cluster zu identifizieren. Das Fenster kann in seiner Größe bis auf zu 50% der getesteten Population variieren und ermöglicht damit eine Identifikation von kleinen und großen Clustern. Um zu bestimmen, ob in einer Region erhöhte Fallzahlen im Vergleich zu ihrer Umgebung vorliegen, wird zusätzlich ein Likelihood-Ratio-Test durchgeführt. Bei der Signifikanzberechnung werden die p-Werte ( $p < 0,05$ ) basierend auf der Monte-Carlo-Randomisierung angepasst (Kulldorff 2010). Um die kleinskalige räumliche Verteilung der Zecken im Nanobereich zu untersuchen, wurden die Gesamtzahlen der Nymphen und der Adulten für die Jahre 2010 - 2012 in SaTScan™ wie beschrieben je Quadrant miteinander verglichen, dabei wurde zwischen Clustern mit vielen Zecken (hohen Raten = HR) und wenigen Zecken (niedrigen Raten = LR) unterschieden (3.6).

### 2.4.6 Borrelien Prävalenz

Die Prävalenz gibt an, welcher Anteil der untersuchten wirtssuchenden *I. ricinus* zum Untersuchungszeitpunkt mit Borrelien infiziert waren. Dabei wurde zwischen Gesamtprävalenz (P) und Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) unterschieden (Formel 6).

#### Formel 5: Berechnung der Gesamtprävalenz (P)

$$P = \left[ \frac{n_{\text{infiziert}}}{n_{\text{untersucht}}} \right] * 100\%$$

P: Gesamtprävalenz [%]

$n_{\text{infiziert}}$ : Anzahl der mit *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. valaisiana* infizierten *I. ricinus*\*

$n_{\text{untersucht}}$ : Anzahl der untersuchten *I. ricinus*

(\**B. lusitanae* und *B. bavariensis* werden nicht weiter betrachtet, da keine der hier untersuchten *I. ricinus* mit *B. lusitanae* oder *B. bavariensis* infiziert war.)

#### Formel 6: Berechnung der Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ )

$$P_{hp} = \left[ \frac{n_{hp}}{n_{\text{untersucht}}} \right] * 100\%$$

$P_{hp}$ : Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien [%]

$n_{hp}$ : Anzahl der mit *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii* infizierten *I. ricinus*

### 2.4.7 Berechnung der Konfidenzintervalle

Die Berechnung der Konfidenzintervalle für Anteilswerte (Prävalenzen) wurde mit der freien Statistik Software Past 3.14 durchgeführt (Hammer et al. 2001). Das Programm berechnet das 95% Intervall für alle Anteilswerte unter Nutzung der Clopper-Pearson Methode. Die Konfidenzintervalle wurden berechnet für alle Prävalenz Angaben – inklusive der Genospezies Anteile – und sind im Anhang zu finden (Abschnitt 8.4.1).

#### 2.4.7.1 Vergleiche in R<sup>®</sup>

Mit Hilfe von R<sup>®</sup> wurden sowohl die Prävalenzen berechnet, als auch die je nach Fragestellung nachfolgend beschriebenen Prävalenz- oder Genospeziesvergleiche durchgeführt. Die Berechnungen erfolgten immer mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests und Holm-Korrektur.

1. Variante 1 für Prävalenz- und Genospeziesvergleiche: Hier erfolgte eine Einzelwerteberechnung über „fisher.test()“. Die resultierenden p-Werte wurden anschließend nach Fragestellung und biologischer Relevanz gruppiert (p-Wert-Vektor) und mit der Holm-Korrektur angepasst (p.adjust(p-Wert-Vektor, method="holm")).

2. Variante 2 für Genospeziesvergleiche: Hier wurde ein mehrfacher Fisher-Exact-Test nach Nakazawa mit implementierter Holm-Korrektur genutzt (`pairwise.fisher.test(x, n, p.adjust.method, ...)`; Paket „fsmb“ (Nakazawa 2007)).

Bis auf den Prävalenzvergleich ( $P_{hp}$ ) im Standort zwischen Gebiet A und B (siehe 2.4.7.5), wurde immer mit Zahlen für den gesamten Standort gerechnet, also Nano-, Mikro und Makro zusammen.

#### **2.4.7.2 Voruntersuchung zum Prävalenzvergleich**

Für den Vergleich der Verhältnisse und Infektionsraten von untersuchten Männchen zu Weibchen wurden diese mit dem Fisher-Exact-Test für alle Standorte (Gatow, Tegel, Wannsee) und Jahre (2010, 2011) zusammen und getrennt gegeneinander in R<sup>®</sup> getestet. Die Berechnungen wurden für die Gesamtstandorte – also Nano- Mikro und Makrotransekte – durchgeführt.

#### **2.4.7.3 Vergleiche Gesamtprävalenz (P)**

Um zu prüfen, ob sich die Gesamtprävalenzen von Lyme-Borrelien zwischen den Standorten (Gatow, Tegel, Wannsee) unterscheiden, wurden die Gesamtprävalenzen ohne *B. miyamotoi* mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests in R<sup>®</sup> miteinander verglichen und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst (Variante 1). Die Vergleiche zwischen den Standorten wurden durchgeführt für infizierte Zecken versus nicht-infizierte Zecken jeweils mit den Parametern:

- Stadien:
  - Nymphen
  - Adulte
  - Nymphen + Adulte
- Jahre:
  - 2010
  - 2011
  - 2010 + 2011

Die Standortvergleichspaare waren dabei: Gatow – Wannsee, Wannsee – Tegel, Gatow – Tegel. Die Holm-Korrektur wurde nach Stadien sortiert durchgeführt, also für Nymphen, Adulte und Nymphen + Adulte, damit ergaben sich drei Werte pro Korrekturvektor (Gruppierung nach Standorten).

Die Null-Hypothese lautet: „Es gibt keine Unterschiede hinsichtlich der Gesamtprävalenz zwischen den verschiedenen Standorten.“

#### **2.4.7.4 Vergleiche Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ )**

Um die Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) von Nymphen und Adulten der Standorte Gatow, Tegel und Wannsee in den Jahren 2010 und 2011 zu bestimmen, wurden von der jeweiligen Gesamtprävalenz die Einzelprävalenzen von *B. valaisiana* und *B. miyamotoi* abgezogen, *B. lusitaniae* wurde in keiner Zecke nachgewiesen. Die resultierenden Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) wurden mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests in R<sup>®</sup> miteinander verglichen und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst (Variante 1). Die Vergleiche zwischen den Standorten wurden durchgeführt für infizierte Zecken versus nicht-infizierte Zecken jeweils mit den Parametern:

- Stadien:
  - Nymphen
  - Adulte
- Jahre:
  - 2010
  - 2011
  - 2010 + 2011

Die Standortvergleichspaare waren dabei: Gatow – Wannsee, Wannsee – Tegel, Gatow – Tegel. Die Holm-Korrektur wurde nach Stadien sortiert durchgeführt, also für Nymphen, Adulte, damit hatte man drei Werte pro Korrekturvektor (Gruppierung nach Standorten).

Die Null-Hypothese lautet: „Es gibt keine Unterschiede hinsichtlich der humanpathogenen Prävalenz zwischen den verschiedenen Standorten.“

#### **2.4.7.5 Vergleich der Gesamtprävalenz ( $P$ ) bzw. Prävalenz ( $P_{hp}$ ) von Nymphen und Adulten innerhalb eines Standortes zwischen Teilgebieten**

Um zu prüfen, ob sich die Gesamtprävalenzen von Lyme-Borrelien ( $P$ ) bzw. die Prävalenzen mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) innerhalb eines Standortes zwischen Teilgebieten unterschieden, wurden die jeweiligen Prävalenzen ( $P$ ,  $P_{hp}$ ) mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests in R<sup>®</sup> miteinander verglichen und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst (Variante 1). Die Vergleiche innerhalb des Standortes wurden für infizierte Zecken versus nichtinfizierte Zecken mit jeweils den folgenden Parametern durchgeführt:

- Stadien:
  - Nymphen
  - Adulte
- Jahre:
  - 2010

- 2011
- 2010 + 2011

Die Vergleichspaare waren dabei: Gatow<sub>Nano</sub> – Gatow<sub>Mikro-Makro</sub>, Tegel<sub>Nano</sub> – Tegel<sub>Mikro-Makro</sub>, Tegel<sub>Hof</sub> – Tegel<sub>Wald</sub>, Wannsee<sub>Viel</sub> – Wannsee<sub>Wenig</sub><sup>2</sup>. Die Holm-Korrektur wurde nach Stadien sortiert durchgeführt, also für Nymphen, Adulte, damit hatte man drei Werte pro Korrekturvektor (Gruppierung nach Standorten).

Die Null-Hypothese lautet für P und P<sub>hp</sub>:

Gesamtprävalenz (P): „Es gibt keine Unterschiede hinsichtlich der Gesamtprävalenz zwischen den verschiedenen Bereichen eines Standortes.“

Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (P<sub>hp</sub>): „Es gibt keine Unterschiede hinsichtlich der Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien zwischen den verschiedenen Bereichen eines Standortes.“

## 2.4.8 Vergleich Genospeziesverteilung

### 2.4.8.1 Vergleich Genospeziesverteilung zwischen den Standorten

Um Unterschiede in der Verteilung der Genospezies zwischen den Standorten zu betrachten, wurde ein Genospeziesvergleich zwischen den Standorten (Gatow, Tegel, Wannsee) durchgeführt. Dieser Vergleich geschah je Jahr (2010, 2011) und beiden Jahren zusammen (2010+2011). Dazu wurden jeweils die einzelnen Genospezies (*B. afzelli*, *B. garinii*, *B. valaisiana*, *B. burgdorferi* s.s., *B. spielmanii*) in Nymphen und Adulten gegen die Summe der restlichen Genospezies ohne *B. miyamotoi* mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests in R<sup>®</sup> miteinander verglichen und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst (Variante 1, `fisher.test()`). Die Genospeziesvergleiche zwischen den Standorten wurden jeweils durchgeführt mit den Parametern:

- Stadien:
  - Nymphen
  - Adulte
- Jahre:
  - 2010
  - 2011
  - 2010 + 2011

---

<sup>2</sup> Definition: „Viel“: Transekte mit relativen Zeckenanteilen über 10%, „Wenig“: Transekte mit relativen Zeckenanteilen unter 10%

Die Null-Hypothese lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Genospezies unter den Standorten, bezogen auf Jahr(e) und Stadium.“

#### **2.4.8.2 Vergleich Genospeziesverteilung im Standort**

Für den Genospeziesvergleich im Standort (Gatow, Tegel, Wannsee) und je Jahr (2010, 2011) bzw. beider Jahre (2010+2011), wurden jeweils die einzelnen Genospezies (*B. afzelii*, *B. garinii*, *B. valaisiana*, *B. burgdorferi* s.s., *B. spielmanii*) in Nymphen und Adulten gegen die Summe der restlichen Genospezies ohne *B. miyamotoi* mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests in R<sup>®</sup> miteinander verglichen und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst (Variante 2, `pairwise.fisher.test()`). Die Genospeziesvergleiche im Standort wurden jeweils durchgeführt mit den Parametern:

- Stadien:
  - Nymphen
  - Adulte
- Jahre:
  - 2010
  - 2011
  - 2010 + 2011

Die Null-Hypothese lautet: „Es gibt keine Unterschiede zwischen den Genospezies innerhalb eines Standortes, bezogen auf Jahr(e) und Stadium.“

#### **2.4.9 Theoretisches Expositionsrisikos ( $E_t$ )**

Das hier berechnete theoretische Expositionsrisiko ( $E_t$ ) gibt an, wie vielen infizierten Nymphen oder adulten Weibchen man auf 100 m<sup>2</sup> theoretisch begegnen konnte. Es wurde als Produkt aus Prävalenz<sub>hp</sub> (Nymphen, Adulte) und normierter Dichte (Nymphen, Weibchen) berechnet (Formel 7), bezogen auf hundert Quadratmeter für jeden Standort (Gatow, Wannsee, Tegel), jedes Jahr (2010, 2011) und jedes Stadium. Da angenommen wird, dass infizierte Nymphen, Weibchen und Männchen innerhalb eines Standortes bzw. zwischen Nano- und Mikro- & Makro-Bereich vergleichbar verteilt waren (siehe Abschnitte 3.7.1, 3.7.2, 3.7.4), wurden sowohl die normierten Dichten als auch die Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien für die Gesamtfläche des Standortes also Nano-, Miko, und Makro- Bereich berechnet.

#### Formel 7: Berechnung des theoretischen Expositionsrisikos

$$E_t = \left[ \frac{D_{norm} * P_{hp}}{100\%} \right] * 100$$

$E_t$ : theoretisches Expositionsrisiko [ $Ny_i$  oder  $W_i/100m^2$ ] ( $Ny_i$ : infizierte Nymphen,  $W_i$ : infizierte Weibchen)

$D_{norm}$ : normierte Dichte des Standortes pro Jahr [ $n/m^2$ ]

$P_{hp}$ : Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien [%]

Die Männchen von *I. ricinus* saugen kein Blut, übertragen damit keine Erreger und sind folglich nicht relevant für die Berechnung des Expositionsrisikos. Die Prävalenzbestimmung in dieser Untersuchung erfolgte jedoch in der Untersuchung sowohl für Weibchen und Männchen. Um zur Berechnung des Expositionsrisikos die erhobenen Prävalenzzahlen humanpathogener Lyme-Borrelien (Untersuchungsdaten) nicht zu minimieren, wurden die Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien von Weibchen und Männchen (Adulte) für die Berechnung des Expositionsrisikos genutzt. Dabei wurde nach entsprechender Testung zugrunde gelegt (2.4.7.2), dass sich die *Infektionsraten* von Männchen und Weibchen in allen Untersuchungsgebieten nicht messbar unterschieden haben und ebenfalls nicht das *Verhältnis* von untersuchten Männchen zu untersuchten Weibchen.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Allgemeine Beschreibung Mikro- und Makrotransekte

Zur Untersuchung der Abundanz von *I. ricinus* im periurbanen Bereich, wurden von 2010 – 2012 an den drei Standorten Gatow, Tegel und Wannsee in einem zweiwöchigen Intervall Zecken auf den Mikro- und Makrotransekten geflaggt. Die Einteilung in Mikro- und Makrotransekte diente der Beschreibung der Verteilungsmuster von *I. ricinus* im großskaligen Bereich. Insgesamt wurden über die drei Jahre und in allen Standorten 9.217 *I. ricinus* geflaggt, davon 7.541 Nymphen und 1.676 Adulte, mit einem durchschnittlichen Verhältnis von 4,5 Nymphen zu Adulten (Tabelle 9). Das Verhältnis von Männchen zu Weibchen lag bei 1,2 mit 918 Männchen und 758 Weibchen. Bezogen auf die einzelnen Standorte wurden von 2010 – 2012 in Gatow insgesamt 4.610 *I. ricinus* geflaggt, davon 3.436 Nymphen und 1.174 Adulte mit einem Verhältnis von 2,9 (Tabelle 10). In Tegel waren es absolut 2.989 Zecken und einem Nymphen-Adulten-Verhältnis von 9,8; in Wannsee 1.618 Zecken mit einem Verhältnis von 6,2. Von allen drei Standorten zeigte sich in Tegel über die drei Jahre die höchste Abundanz von Nymphen im Vergleich zu Adulten.

**Tabelle 9: Übersicht gesammelter *I. ricinus* der Jahre 2010, 2011, 2012 für alle drei Standorte zusammen im Mikro- & Makro-Bereich und Verhältnis der Stadien zueinander**

Jahr	Beflaggte m <sup>2</sup>	Absolute Zahlen <i>I. ricinus</i> [n]					Verhältnis		Dichte [n/m <sup>2</sup> ]		Median [n/m <sup>2</sup> ]	
		Gesamt	Nymphen	Adulte	M	W	Ny:Ad*	M:W*	Ny/m <sup>2</sup>	Ad/m <sup>2</sup>	m_Ny*	m_Ad
2010	32.212,6	3.518	2.959	559	302	257	5,3	1,2	0,092	0,017	0,021	0
2011	37.801,6	4.094	3.289	805	438	367	4,1	1,2	0,087	0,021	0	0
2012	35.439,0	1.605	1.293	312	178	134	4,1	1,3	0,036	0,009	0	0
Total	105.453,2	9.217	7.541	1.676	918	758	4,5	1,2	0,071	0,016	0	0

\*Ad: Adulte, M: Männchen, m: Median, Ny: Nymphen, W: Weibchen; Anmerkung: Da die absolute Streckenlänge pro Jahr abhängig von den Sammelereignissen variiert, kann man nicht automatisch von den absoluten Zahlen auf die normierten Dichten schließen.

**Tabelle 10: Übersicht gesammelter *I. ricinus* und dem Verhältnis der Stadien zueinander für den Mikro- & Makro-Bereich, getrennt nach Jahren und Standorten**

Standort (Streckenlänge* [m <sup>2</sup> ])	Jahr	Absolute Zahlen [n]					Verhältnis <sup>#</sup>		Dichte [n/m <sup>2</sup> ]		Median [n/m <sup>2</sup> ]	
		Gesamt	Nymphen	Adulte	M <sup>#</sup>	W <sup>#</sup>	Ny:Ad	M:W	Ny/m <sup>2</sup>	Ad/m <sup>2</sup>	m_Ny <sup>#</sup>	m_Ad
Gatow (1.117 m <sup>2</sup> )	2010	1.600	1.250	350	201	149	3,6	1,3	0,082	0,023	0	0
	2011	1.925	1.304	621	340	281	2,1	1,2	0,073	0,035	0	0
	2012	1.085	882	203	112	91	4,3	1,2	0,053	0,012	0,01	0
	Summe	4.610	3.436	1.174	653	521	2,9	1,2	0,069	0,023	0	0
Tegel (698,8 m <sup>2</sup> )	2010	1.279	1.182	97	40	57	12,2	0,7	0,121	0,010 <sup>2</sup>	0,047	0
	2011	1.336	1.237	99	54	45	12,5	1,2	0,111	0,009 <sup>2</sup>	0,024	0
	2012	374	293	81	45	36	3,6	1,2	0,028	0,008 <sup>2</sup>	0	0
	Summe	2.989	2.712	277	139	138	9,8	1	0,086	0,009	0,016	0
Wannsee (546,8 m <sup>2</sup> )	2010	639	527	112	61	51	4,7	1,2	0,074	0,016	0,037	0
	2011	833	748	85	44	41	8,8	1,1	0,085	0,01	0,019	0
	2012	146	118	28	21	7	4,2	3	0,014	0,003	0	0
	Summe	1.618	1.393	225	126	99	6,2	1,3	0,058	0,009	0,017	0

\* Gesamtstreckenlänge pro Standort für einen Sammeltermin, #Ad: Adulte, M: Männchen, m: Median, Ny: Nymphen, W: Weibchen

### 3.2 Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte

Die Abundanz wirtssuchender Zecken – und damit ihre Aktivität – wurde über ihre normierten Dichten betrachtet (2.4.2). Dabei gab es zwei generelle, nach Zeit und Raum getrennte Betrachtungsweisen:

1. Zeitlich: Betrachtung der jährlichen Gesamtaktivität über die Jahresvergleiche der normierten Dichten
2. Räumlich: Betrachtungen über den entsprechenden Dichtevergleich der räumlichen Gesamtaktivität im Standort, zwischen den Standorten, sowie Streckenvergleiche

Für die zusätzliche Betrachtung in Kombination von Zeit und Raum wurden außerdem die relativen Anteile der Zecken genutzt (2.4.3). Darüber ließen sich Aussagen über deren saisonale Aktivität machen, unabhängig von deren tatsächlicher Dichte.

#### 3.2.1 Zeckenaktivität im Jahresvergleich aller drei Standorte (zeitliche Betrachtung ohne Raum)

Um die Aktivität von Nymphen und Adulten zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 standortunabhängig miteinander zu vergleichen, wurden die Jahresgesamtdichten der Standorte Gatow, Tegel und Wannsee berechnet und mit dem Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test für alle drei Jahre gegeneinander getestet (2.4.4.1). Die Zeckenaktivität für alle Standorte zusammen betrachtet unterschied sich

zwischen den Jahren 2010 - 2012. Im Jahr 2010 war die Nymphenaktivität mit  $0,092 \text{ Ny/m}^2$  am größten; der Median liegt bei ca.  $0,021 \text{ Ny/m}^2$  (Abbildung 10, Tabelle 9, Anhang: Tabelle 20). Obwohl in 2011 die Nymphenaktivität über die Dichte betrachtet nur ca. 5% geringer als in 2010 war, lag der Median jedoch bei null und zeigt damit, dass in diesem Jahr insgesamt signifikant weniger Nymphen auf Wirtssuche waren als in 2010 ( $p_{2010-11} \approx 0,015$ ). In 2012 gab es einen höchst signifikanten Abfall in der Nymphenaktivität um ca. 60% im Vergleich zu beiden Vorjahren mit nur noch  $0,04 \text{ Ny/m}^2$  ( $p_{2010/11-2012} < 0,001$ ). Die Adultenaktivität war in den Jahren 2010 und 2011 mit durchschnittlich  $0,02 \text{ Ad/m}^2$  vergleichbar ( $p_{2010-11} = 0,63$ ). Es sind keine signifikanten Aktivitätsunterschiede nachweisbar. Dagegen war die Adultenaktivität mit  $0,009 \text{ Ad/m}^2$  im Jahr 2012 höchst signifikant um 53% niedriger als in den beiden Vorjahren ( $p_{2010/11-2012} < 0,001$ ). Standortunabhängig betrachtet waren die Nymphen und Adulten Zecken im Jahr 2012 deutlich weniger aktiv.

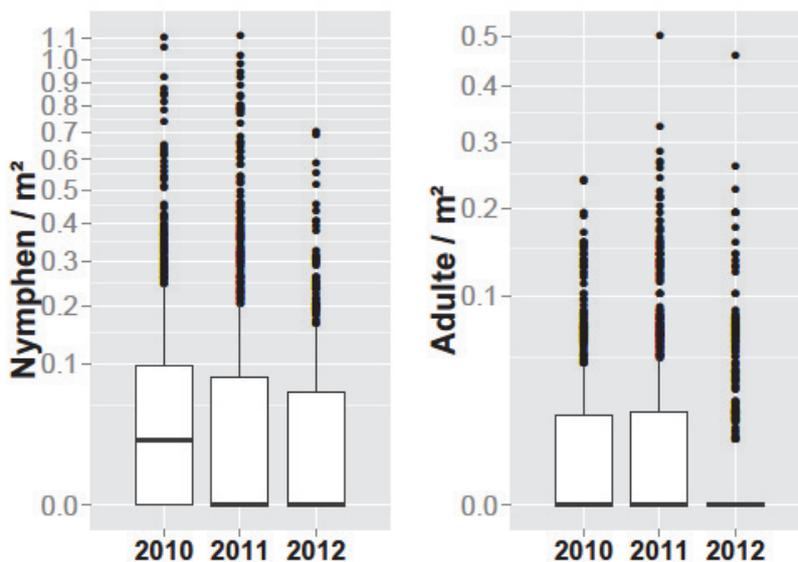
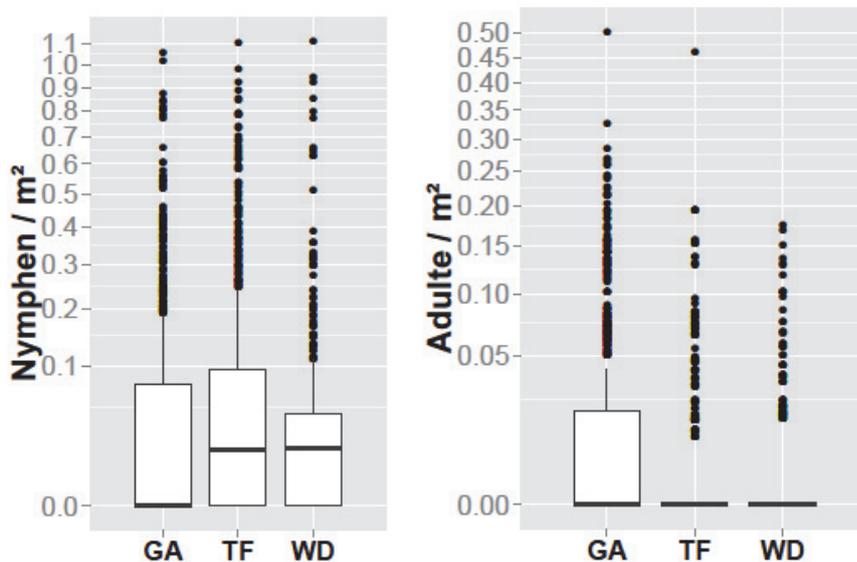


Abbildung 10: Boxplotdarstellung\* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für alle Standorte (\*zur besseren Übersicht Transformation der y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel)

### 3.2.2 Zeckenaktivität im Standortvergleich über drei Jahre (räumliche Betrachtung ohne Zeitfaktor)

Für den standortabhängigen Vergleich von wirtssuchenden Nymphen und Adulten wurden deren Gesamtdichten von 2010 bis 2012 unter den Standorten Gatow, Tegel, Wannsee mit dem Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test miteinander verglichen (2.4.4.2). Tegel war der Standort mit der deutlich höchsten Aktivität von Nymphen mit  $0,09 \text{ Ny/m}^2$  über drei Jahre (Abbildung 11, Tabelle 10, Anhang: Tabelle 21). Dabei waren in Gatow mit  $0,07 \text{ Ny/m}^2$  ca. 20% weniger Nymphen auf Wirtssuche als in Tegel, in Wannsee waren es sogar ca. 33% weniger mit  $0,06 \text{ Ny/m}^2$  ( $p_{\text{TF-GAWD}} < 0,01$ ). Die Adulten waren in Gatow am aktivsten mit  $0,02 \text{ Ad/m}^2$ . In Tegel und Wannsee war die Aktivität der Adulten

ungefähr gleich mit rund 0,009 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{TF-WD} = ns$ ) und um ca. 62% deutlich niedriger als in Gatow ( $p_{GA-TF/WD} < 0,001$ ). Bei der standortabhängigen Betrachtung der Stadien über drei Jahre fanden sich die meisten wirtssuchenden Nymphen in Tegel und die meisten aktiven Adulte in Gatow.



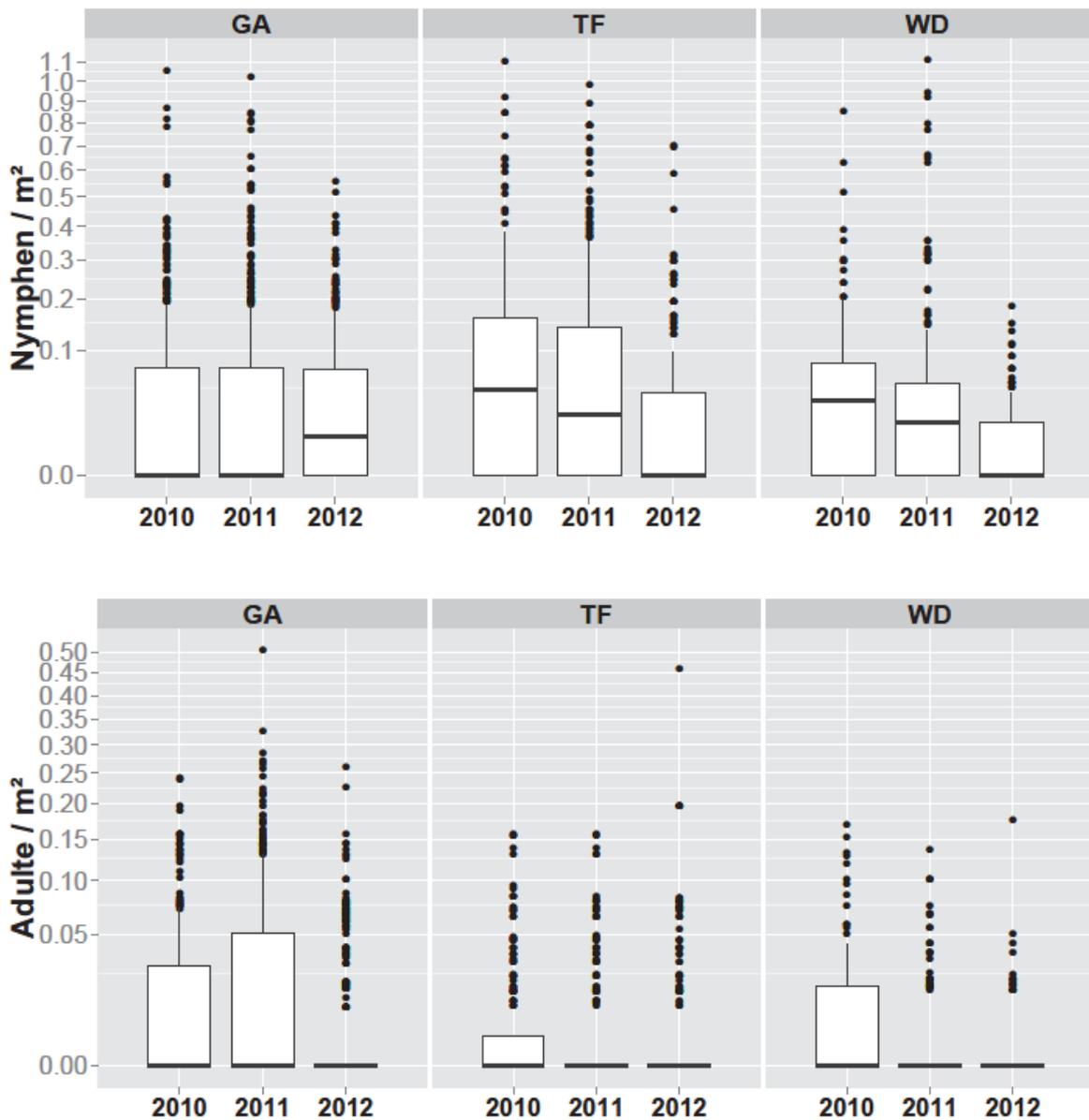
GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; \*zur besseren Übersicht Transformation der y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel

**Abbildung 11: Boxplotdarstellung\* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre**

### 3.2.3 Vergleich der Zeckenaktivität zwischen den Jahren der einzelnen Standorte (Zeitliche Betrachtung, ist ortsabhängig)

Um zu bestimmen, ob sich die Aktivität von Nymphen und Adulten eines Standortes zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 unterscheidet, wurden die Jahresgesamtdichten je Standort - Gatow, Tegel und Wannsee - im Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest) und ungepaarten Wilcoxon Rangsummen Test (Post-Hoc-Test) miteinander verglichen (2.4.4.3). In Gatow waren die Nymphen in allen drei Jahren ähnlich aktiv mit durchschnittlich 0,07 Ny/m<sup>2</sup> ( $p_{KW\_GA} = ns$ ; Abbildung 12, Tabelle 10, Anhang Tabelle 22). In Tegel war die Aktivität der Nymphen nur zwischen den Jahren 2010 und 2011 mit 0,1 Ny/m<sup>2</sup> vergleichbar ( $p_{2010-2011} = ns$ ), in 2012 dagegen waren mit 0,03 Ny/m<sup>2</sup> durchschnittlich 70% weniger Nymphen aktiv ( $p_{2010/11-12} < 0,001$ ). In Wannsee waren die Nymphen in allen drei Jahren unterschiedlich aktiv auf Wirtssuche. Von 2010 zu 2012 sank hier die Aktivität der Nymphen um fast 90% höchst signifikant von 0,09 Ny/m<sup>2</sup> auf 0,01 Ny/m<sup>2</sup> ( $p_{2010-12} < 0,001$ ). Die Adulten am Standort Tegel waren in allen drei Jahren ähnlich aktiv mit durchschnittlich 0,009 Ad/m<sup>2</sup> (Für alle Vergleiche:  $p = ns$ ). In Gatow war die Aktivität der Adulten zwischen 2010 und 2011 annähernd vergleichbar mit durchschnittlich 0,03 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{2010-2011} = ns$ ), jedoch sank sie in

2012 stark um durchschnittlich 60% auf 0,01 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{2010/11-12} < 0,001$ ). In Wannsee fanden sich in 2010 die meisten aktiven Adulten mit 0,02 Ad/m<sup>2</sup>. Deren Aktivität sank in 2011 um 50% auf 0,01 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{2010-11} < 0,05$ ), in 2012 sogar deutlich um 85% auf 0,003 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{2010-12} < 0,001$ ). Zwischen den Jahren variierte die Aktivität der Nymphen am wenigsten in Gatow und die der Adulten in Tegel.



GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; \*zur besseren Übersicht Transformation der y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel

Abbildung 12: Boxplotdarstellung\* der Dichte wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte

### 3.3 Saisonale Zeckenaktivität für Mikro- und Makro-Transekte

Um die saisonale Aktivität der wirtssuchenden Nymphen und Adulten innerhalb eines Jahres (2010, 2011, 2012) und Standortes (Gatow, Tegel, Wannsee) zu untersuchen, wurden die Dichten der wirtssuchenden Zecken im gepaarten Friedman-Test (Omnibustest) und gepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test) miteinander verglichen (2.4.4.4). Um den saisonalen Verlauf der Aktivität darzustellen, wurde der relative Anteil der aktiven Zecken jedes Sammelereignisses unabhängig von ihrer Dichte im Verhältnis zur Jahresgesamtdichte berechnet und in Prozent angegeben. In der grafischen Umsetzung der relativen Anteile wurden damit die Zecken-Anteile jedes Sammelereignisses im Standort an der Gesamtzeckenaktivität pro Jahr dargestellt und ergeben in Summe 100%. Damit ließ sich die Aktivität je Sammelereignis auch zwischen Jahren vergleichen, in denen die Dichte möglicherweise stark variierte und ermöglichten anschauliche Aussagen zu den Verteilungsmustern über die Saison (2.4.3).

#### 3.3.1 Gatow Jahresübersicht für Zeckenaktivität

Die saisonale Zeckenaktivität am Standort Gatow unterschied sich von 2010 - 2012 im jeweiligen Jahr höchst signifikant zwischen den einzelnen Sammelereignissen ( $p_{FM\_GA} < 0,001$ , Abbildung 13, Abbildung 14, Anhang: Tabelle 23). Im Post-Hoc-Test zeichneten sich für die Nymphen für alle drei Jahre signifikante Unterschiede in ihrem saisonalen Vorkommen ab (Anhang: Tabelle 24, Tabelle 25, Tabelle 26). Dabei war in den Jahren 2010, 2011 und 2012 die saisonale Aktivität der Nymphen in der ersten Jahreshälfte vergleichbar. Die meisten Nymphen waren von April bis Juni auf Wirtssuche (2010: 0,18 Ny/m<sup>2</sup>, 80%; 2011: 0,16 Ny/m<sup>2</sup>, 84%; 2012: 0,07 Ny/m<sup>2</sup>, 61%). Jedoch gab es in 2011 Ende April und Anfang Mai einen leichten Rückgang der Nymphenaktivität. Dieser war in 2012 noch ausgeprägter im Mai (0,03 Ny/m<sup>2</sup>, 9%) im Vergleich zum Vormonat (0,12 Ny/m<sup>2</sup>, 31%). Interessanterweise waren dafür in 2012 deutlich mehr Nymphen von Juli bis Anfang Oktober auf Wirtssuche als in beiden Vorjahren (2010: 0,02 Ny/m<sup>2</sup>, 15%; 2011: 0,015 Ny/m<sup>2</sup>, 10%, 2012: 0,037 Ny/m<sup>2</sup>, 31%). Die saisonalen Aktivitätsmuster der Adulten ähnelten sich in den drei Jahren ebenfalls in der ersten Jahreshälfte. In den Post-Hoc-Tests waren die saisonalen Unterschiede für 2010 und 2011 signifikant (Anhang: Tabelle 27, Tabelle 28). Die meisten Adulten waren von April bis Juni auf Wirtssuche (2010: 0,05 Ad/m<sup>2</sup>, 62%, 2011: 0,072 Ad/m<sup>2</sup>, 76%), in 2012 sogar schon von März bis Anfang Juli (0,021 Ad/m<sup>2</sup>, 91%). Die wenigsten Adulten waren von Juli bis Oktober aktiv (2010: 0,02 Ad/m<sup>2</sup>, 32%, 2011: 0,014 Ad/m<sup>2</sup>, 16%, 2012: 0,003 Ad/m<sup>2</sup>, 9%). Jedoch sind in 2010 die Unterschiede zwischen den aktiven Adulten im Frühjahr und Herbst nicht so ausgeprägt wie in den Folgejahren. Sowohl Nymphen als auch Adulte zeigten eine teilweise vergleichbare saisonale Aktivität in allen drei

Jahren: Die meisten Zecken waren in Gatow von April bis Juni auf Wirtssuche, in 2012 startete ihre Aktivität schon früher im März.

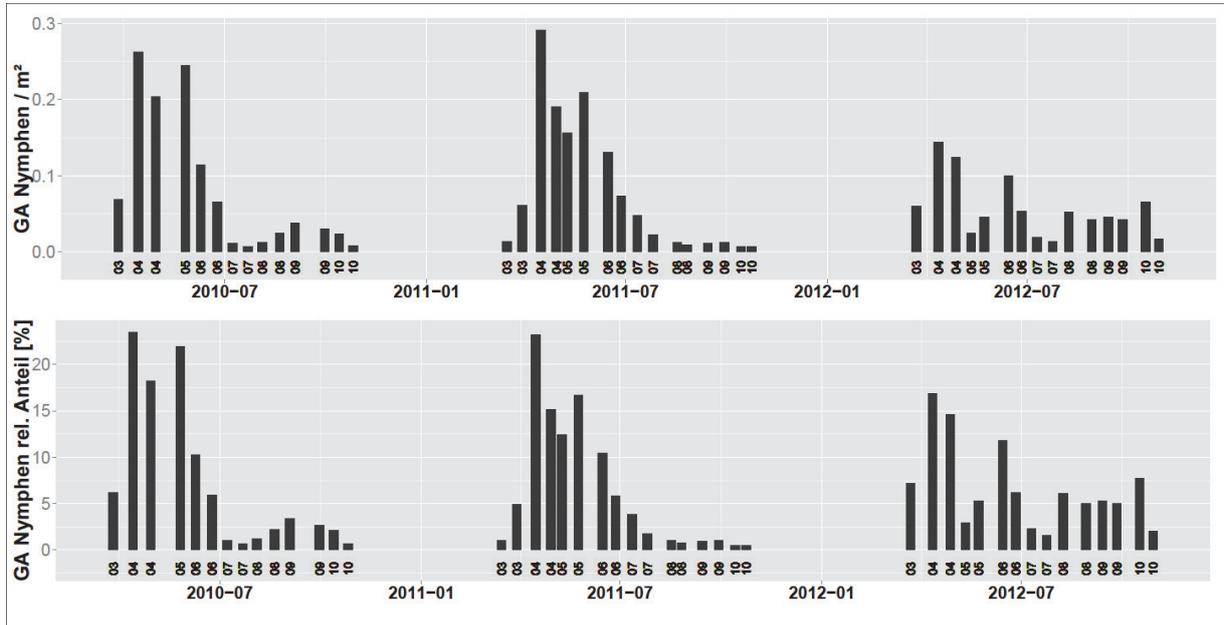


Abbildung 13: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Gatow (GA) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)

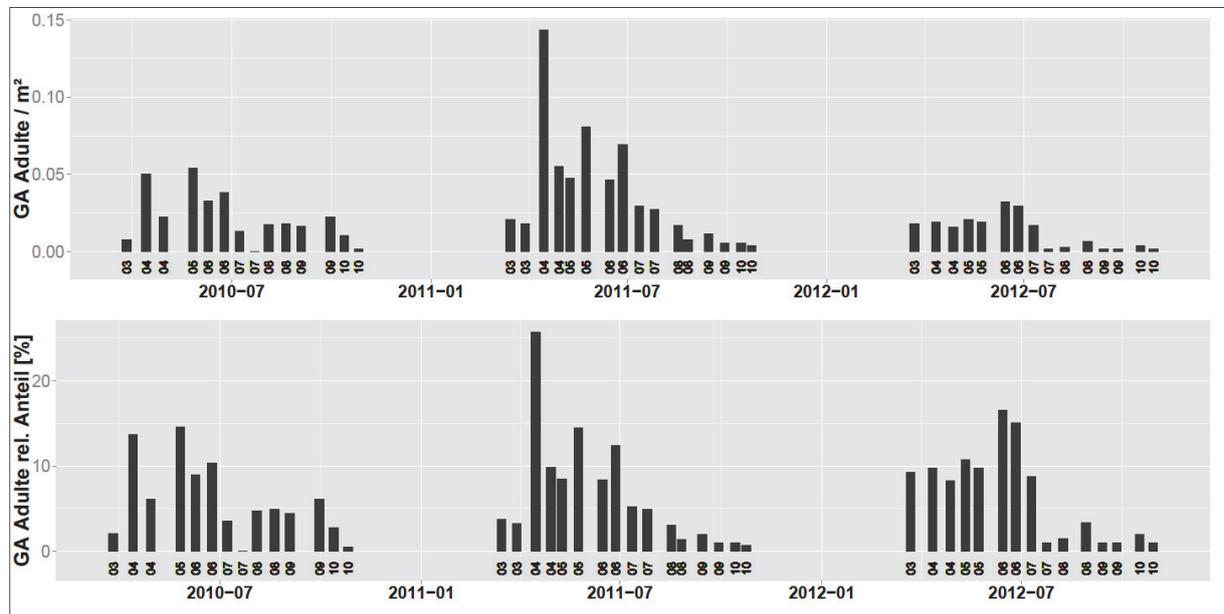
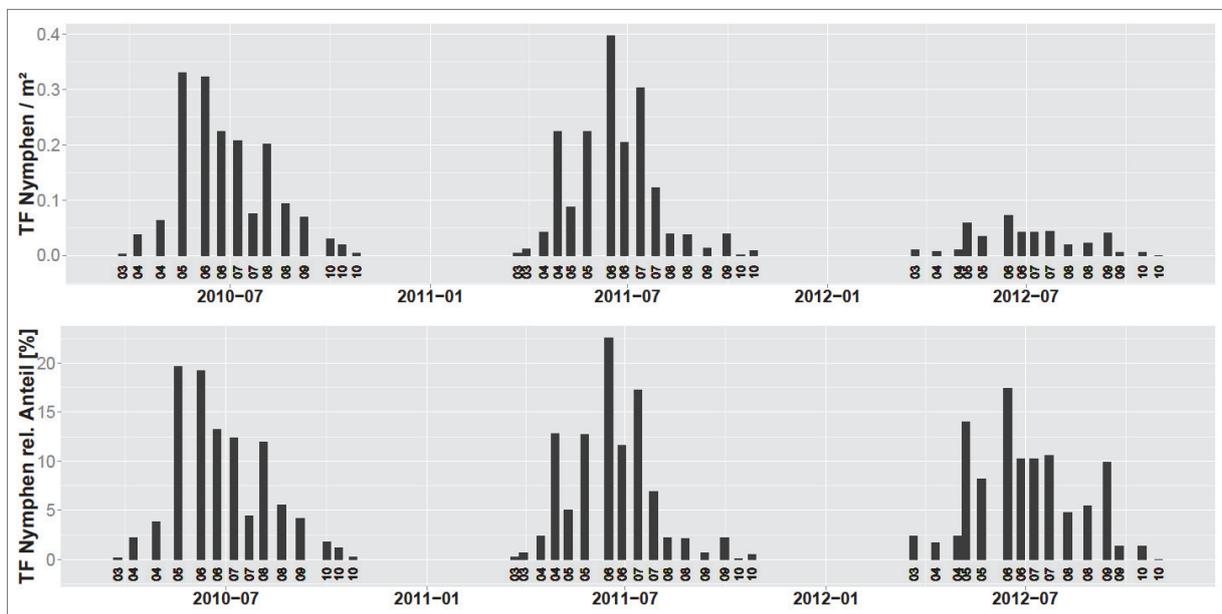


Abbildung 14: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Gatow (GA) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)

### 3.3.2 Tegel Jahresübersicht für Zeckenaktivität

Die saisonale Zeckenaktivität am Standort Tegel unterschied sich von 2010 - 2012 im jeweiligen Jahr signifikant zwischen den einzelnen Sammelereignissen ( $p_{FM\_TF} < 0,05$ ,

Abbildung 15, Abbildung 16, Anhang: Tabelle 23). Mit den Post-Hoc-Tests konnten für die Nymphen in den Jahren 2010 und 2011 signifikante Unterschiede zwischen konkreten Sammelereignissen nachgewiesen werden, bei den Adulten dagegen nicht (Anhang: Tabelle 29, Tabelle 30). Unabhängig von der Dichte ähnelte sich die Aktivität der Nymphen über die gesamte Saison in den Jahren 2010 und 2012. Die meisten Nymphen waren von Mai bis Juli auf Wirtssuche (2010: 0,27 Ny/m<sup>2</sup>, 65%; 2012: 0,05 Ny/m<sup>2</sup>, 72%), einen zweiten leichten Anstieg in der Aktivität war im August und September zu verzeichnen (2010: 0,12 Ny/m<sup>2</sup>, 17%; 2012: 0,03 Ny/m<sup>2</sup>, 20%). In 2011 dagegen startete die erste Aktivitätsphase schon Ende April und hielt ebenfalls bis Mitte Juli an (0,24 Ny/m<sup>2</sup>, 83%), im August und September waren vergleichsweise wenige wirtssuchende Nymphen zu flaggen (0,03 Ny/m<sup>2</sup>, 6%). Dieses Muster zeigte sich auch bei den Adulten im Jahr 2011 und 2012. Auch hier waren die meisten Adulten von Ende April bis Ende Juli auf Wirtssuche (2011: 0,015 Ad/m<sup>2</sup>, 80%; 2012: 0,011 Ad/m<sup>2</sup>, 78%), deutlich weniger im August und September (2011: 0,006 Ad/m<sup>2</sup>, 15%; 2012: 0,006 Ad/m<sup>2</sup>, 16%). Im Gegensatz dazu zeigten die Adulten in 2010 eine deutlich größere Aktivität im August und September (0,019 Ad/m<sup>2</sup>, 47%), dafür eine geringere von Ende April bis Juli (0,01 Ad/m<sup>2</sup>, 47%). Generell waren in allen drei Jahren von April bis Juli unterschiedlich viele Adulte je Monat auf Wirtssuche. Trotz der sehr großen saisonalen Unterschiede in der Aktivität waren in allen drei Jahren die meisten Zecken in den Monaten Mai und Juni in Tegel auf Wirtssuche.



**Abbildung 15: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Tegel (TF) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)**

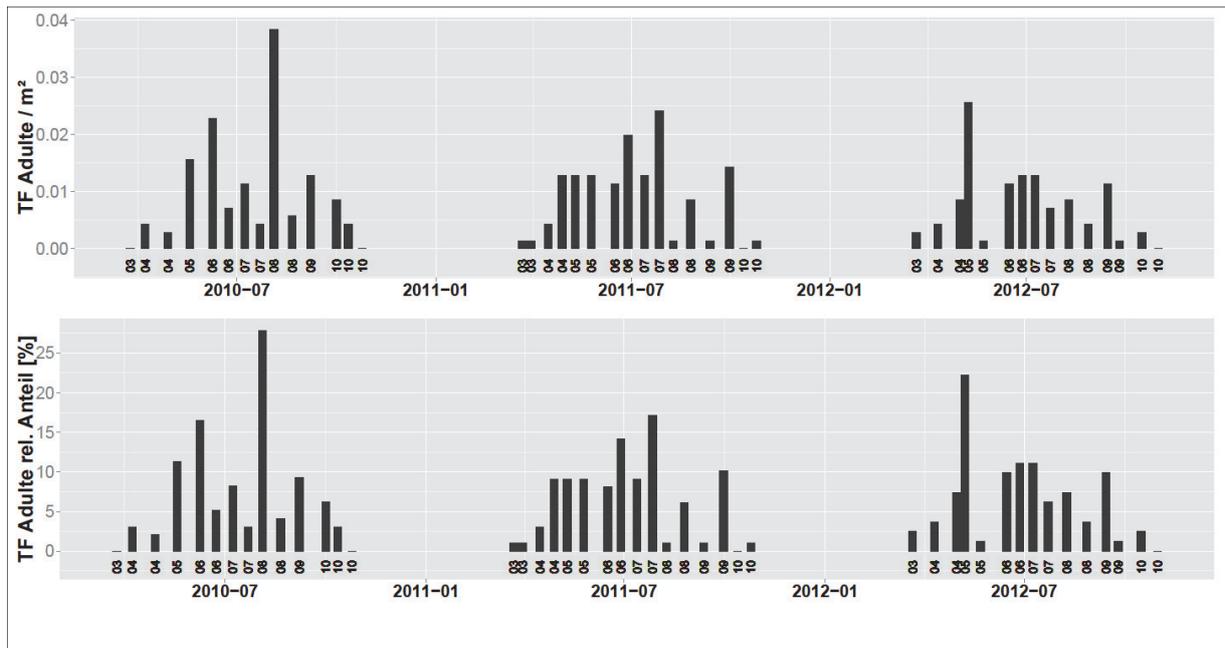


Abbildung 16: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Tegel (TF) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)

### 3.3.3 Wannsee Jahresübersicht für Zeckenaktivität

Die saisonale Zeckenaktivität am Standort Wannsee unterschied sich von 2010 - 2012 im jeweiligen Jahr höchst signifikant zwischen den einzelnen Sammelereignissen ( $p_{FM\_WD} < 0,001$ ; Abbildung 17, Abbildung 18). In den Post-Hoc-Tests konnten jedoch keine konkreten Unterschiede für Nymphen und Adulte zwischen den Sammelereignissen nachgewiesen werden (Anhang: Tabelle 23). Unabhängig von der Dichte ähnelte sich die Aktivität der Nymphen über die gesamte Saison in den Jahren 2010 und 2012. Die meisten Nymphen waren von Ende April bis Mitte Juni auf Wirtssuche (2010:  $0,13 \text{ Ny/m}^2$ , 66%; 2012:  $0,03 \text{ Ny/m}^2$ , 62%), mit einem Aktivitätsrückgang im August und erneuter Aktivität im September (Juni/Juli bis September/Oktober: 2010:  $0,05 \text{ Ny/m}^2$ , 31%, 2012:  $0,01 \text{ Ny/m}^2$ , 35%). Dabei gab es im Jahr 2012 zweimal einen starken Rückgang in der Aktivität im Mai und Juli/August, der weniger ausgeprägt auch im Jahr 2011 zu beobachten war. Insgesamt war in 2011 der überwiegende Teil der Nymphen von April bis Mitte Juli aktiv ( $0,17 \text{ Ny/m}^2$ , 89%), von Ende Juli bis Oktober waren vergleichsweise wenige wirtssuchende Nymphen zu flaggen ( $0,02 \text{ Ny/m}^2$ , 10%). Die Adulten waren in allen drei Jahren unterschiedlich aktiv während der Saison. In 2010 war ein klassischer biphasischer Verlauf bei den wirtssuchenden Adulten zu beobachten. Die meisten Adulten waren von Mitte April bis Ende Mai aktiv ( $0,041 \text{ Ad/m}^2$ , 59%), sowie in einem zweiten leichten Aktivitätsanstieg von Ende Juli bis Anfang September ( $0,014 \text{ Ad/m}^2$ , 20%). In den Jahren 2011 und 2012 waren von April bis Juli die meisten Adulten aktiv (2011:  $0,018 \text{ Ad/m}^2$ , 92%; 2012:  $0,007 \text{ Ad/m}^2$ , 94%), danach waren kaum noch Adulte auf Wirtssuche. Insbesondere in 2012 wurden allein im

Juni an einem Sammeltermin rund 45% der Adulten geflaggt (0,024 Ad/m<sup>2</sup>). Die Zecken zeigten in ihrer Aktivität große saisonale Unterschiede in Wannsee, jedoch waren in allen drei Jahren am meisten von ihnen im April, Mai oder Juni auf Wirtssuche.

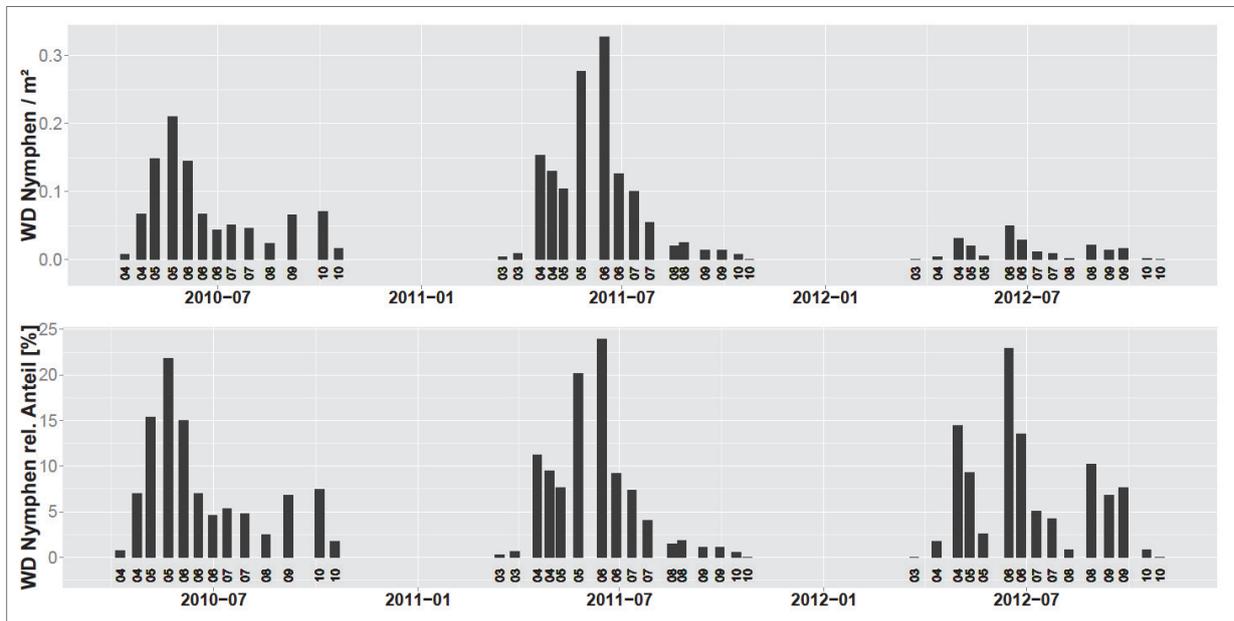


Abbildung 17: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Nymphen in Wannsee 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)

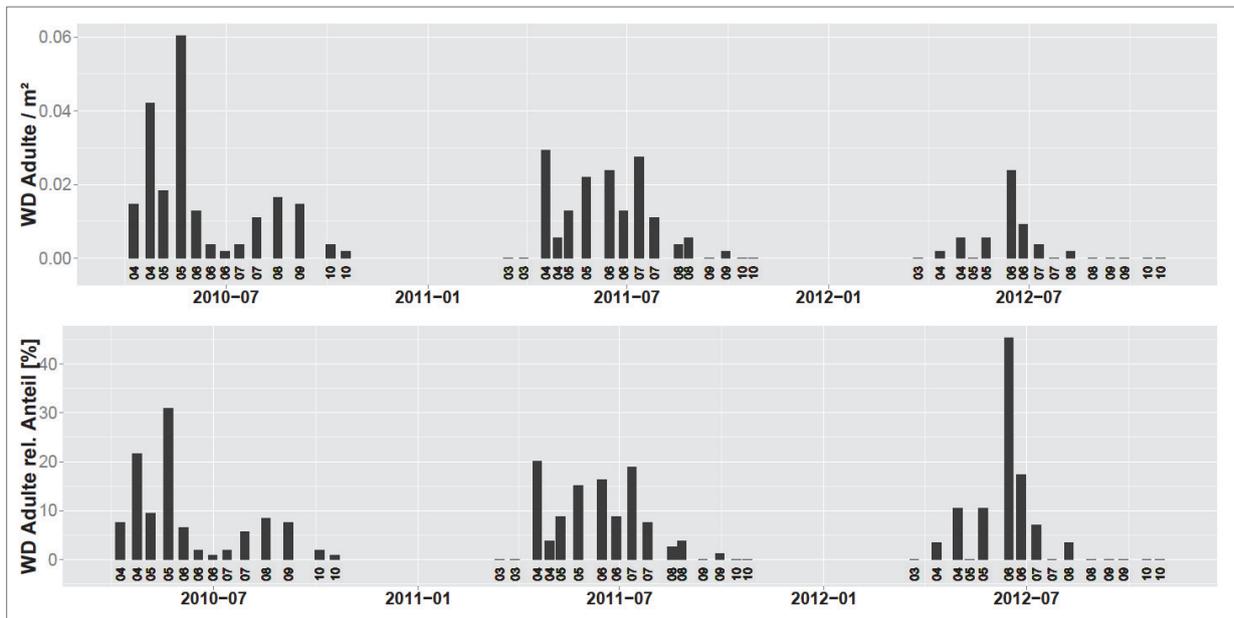


Abbildung 18: Saisonaler Verlauf der Aktivität wirtssuchender Adulter in Wannsee (WD) 2010-2012 über die Darstellung der normierten Dichten (obere Grafik) und der relativen Anteile gesammelter Zecken (untere Grafik, pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%)

## 3.4 Räumliche Betrachtung

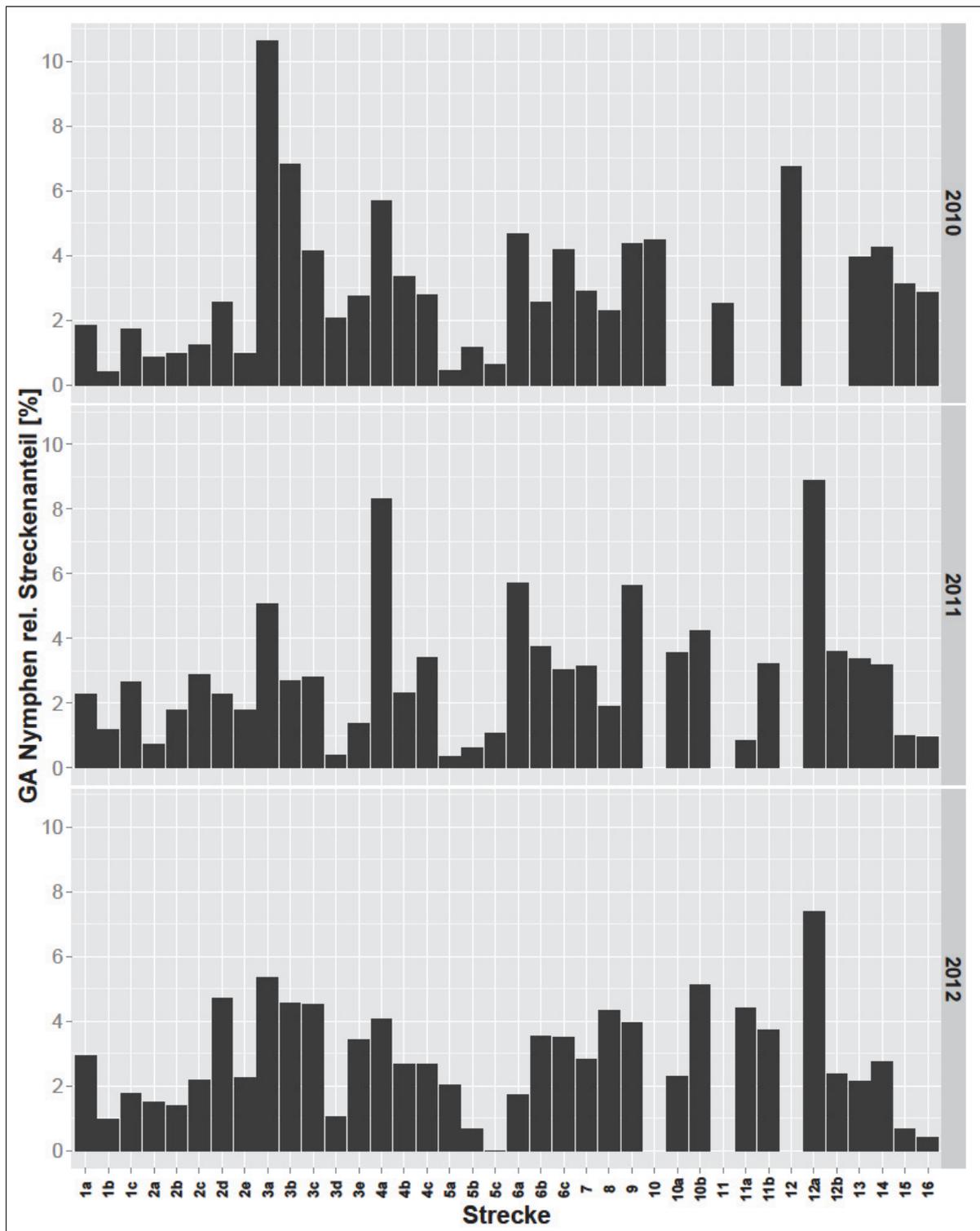
### 3.4.1 Streckenvergleich im Jahr und Standort

Um das räumliche Vorkommen der Zecken bezogen auf die Habitatsstrukturen innerhalb eines Standortes zu betrachten, wurden die Proben-Transekte entweder an strukturellen Übergangsbereichen entlang der Vegetation ausgewählt oder auf einheitlichen, freien Flächen, die sich an solche Übergangsbereiche anschlossen. In der Auswertung wurden die relativen Anteile [%] der Zecken je Standort (Gatow, Tegel, Wannsee) getrennt nach Stadien je Transekt pro Jahr oder für drei Jahre (2010-2012) berechnet und grafisch dargestellt (2.4.3). Hierbei ist zu beachten, dass Gatow mit insgesamt 35 Transekten der Standort mit den meisten Mikro- und Makrotransekten ist, und damit die relativen Anteile pro Transekt deutlich geringer ausfallen als in Tegel oder Wannsee. Für Gatow 2010 wurde der erste Sammeltermin im März nicht berücksichtigt, da an diesem Tag die Strecken 10, 11 und 12 noch nicht beprobt wurden. Zusätzlich zu der graphischen Darstellung wurden die Sammeldichten je Jahr (2010, 2011, 2012) und Standort im gepaarten Friedman-Test (Omnibustest) und gepaarten Wilcoxon- Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test mit Holm Korrektur) je Transekt miteinander verglichen, um das räumliche Vorkommen der Zecken zu betrachten (2.4.4.5). In Gatow und Wannsee unterschied sich die Aktivität der Nymphen deutlich zwischen den Transekten in allen einzeln betrachteten Jahren (Friedman-Test:  $p_{FM_{Ny}} < 0,05$ ; Anhang: Tabelle 31). Für Tegel war dies in 2010 und 2011 ebenfalls der Fall ( $p_{FM_{Ny}} < 0,05$ ), in 2012 unterschieden sich jedoch die Aktivitäten der Nymphen zwischen den Transekten nur schwach signifikant ( $p_{FM_{Ny}_{2012}} < 0,01$ ). Die Aktivität der Adulten unterschied sich ebenfalls deutlich zwischen den Transekten in Gatow und Wannsee in allen einzeln betrachteten Jahren ( $p_{FM_{Ad}} < 0,05$ ). In Tegel dagegen war dies nur in 2010 der Fall ( $p_{FM_{Ad}} < 0,001$ ). Für alle drei Standorte konnte gezeigt werden, dass Unterschiede in der Zeckendichte zwischen den Transekten bestanden. Jedoch konnte mit den Post-Hoc-Tests nicht entschieden werden, zwischen welchen Transekten diese Unterschiede bestanden.

#### 3.4.1.1 Gatow

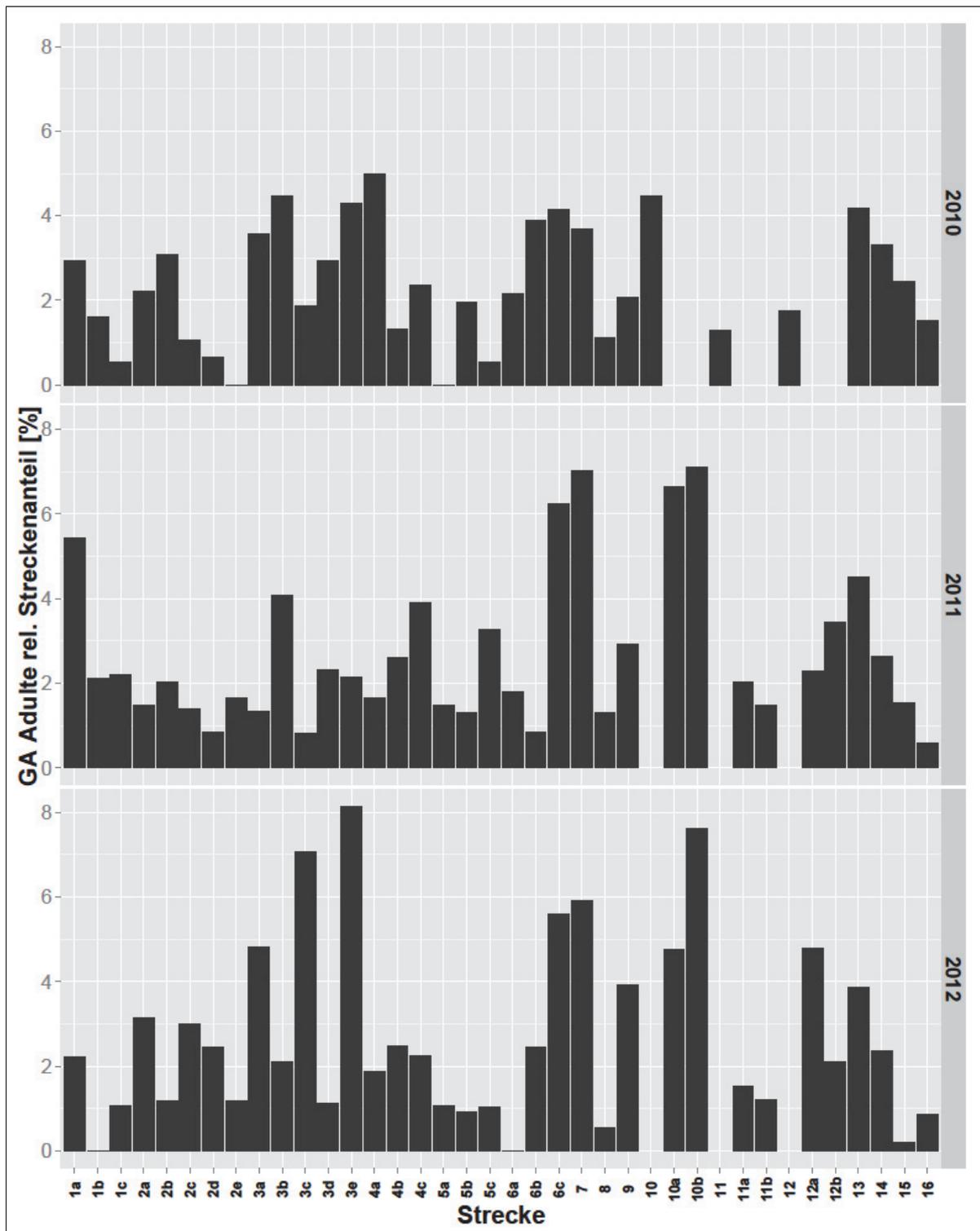
Die größten Anteile wirtssuchender Nymphen waren in Gatow über drei Jahre im Mikrobereich parallel zu Holz- und Laubaufschüttungen auf den Teil-Transekten 4a (Ø 6%) und 3a-3c zu flaggen (Ø 5%; Abbildung 19, Abbildung 21, Anhang: Tabelle 31). Im Makro-Bereich waren die meisten Nymphen aktiv auf Transekten parallel zu Laubaufschüttungen (12a: Ø 8%, 9: Ø 5%) oder auf Transekt 10b mit viel Laub und niedriger Vegetation (Ø 5%). Die Aktivität der Nymphen entlang von Übergangsbereichen war über drei Jahre vergleichsweise stabil. Den geringsten Anteil an Nymphen gab es im Mikro-Bereich auf den Transekten mit hoher Vegetation und viel Sonneneinfall (Transekte: 5 < 1%; 1, 2, 3d: < 2%).

Die wenigsten wirtssuchenden Nymphen waren auf den zwei Transekten im Makro-Bereich, die dem stärksten Sonneneinfall des gesamten Standort ausgesetzt waren (15, 16 < 2%). Die meisten aktiven Adulten im Mikrobereich waren von 2010 - 2012 auf den Teil-Transekten mit mittelhoher Vegetation (3e) und mit niedriger Vegetation zu flaggen (6c; je Ø 5%; Abbildung 20, Abbildung 22, Anhang: Tabelle 31). Dabei zeigte das Teil-Transekt 3e große Schwankungen in der Aktivität der Adulten zwischen den Jahren. Im Makrobereich waren die meisten wirtssuchenden Adulten auf den Transekten mit viel Laub und niedriger Vegetation zu flaggen (10: Ø 6%; 10a: Ø 5,3%; 10b: Ø 6,4%; 7: Ø 5,5 %). Die wenigsten aktiven Adulten im Mikrobereich waren, wie auch bei den Nymphen, auf Transekten mit hoher Vegetation und viel Sonneneinfall im mittleren Bereich der Schneisen zu flaggen (5a-c, 2d, 2e: je < 1,5%). Gleiches zeigte sich auch im Makrobereich, denn auf den Transekten mit hoher Vegetation im Mittelteil der Schneise (8, 11a, 11b) oder auf den sonnigen Freiflächen waren die wenigsten Adulten aktiv (15, 16: alle je < 1,5%). Insgesamt waren viele Zecken auf Transekten nahe Holz- und Laubaufschüttungen und in Übergangsbereichen aktiv (3, 9, 10, 12). Eher wenige Zecken suchten dagegen auf freien Flächen nach Wirten, die von hoher Vegetation und/oder einem großen Distel-Anteil, mit eher trockenem, sandigem Untergrund und teilweise viel Sonneneinstrahlung geprägt waren (1, 2, 5, 8, 11, 15, 16). In Gatow war ein Zusammenhang zwischen Habitatstruktur und Zeckenhäufigkeit zu erkennen: Die meisten Nymphen und Adulten waren auf Makro-Transekt 10b an einem strukturellen Übergangsbereich zu flaggen, die wenigsten auf Schneisen und freien Flächen (2, 5, 15, 16).



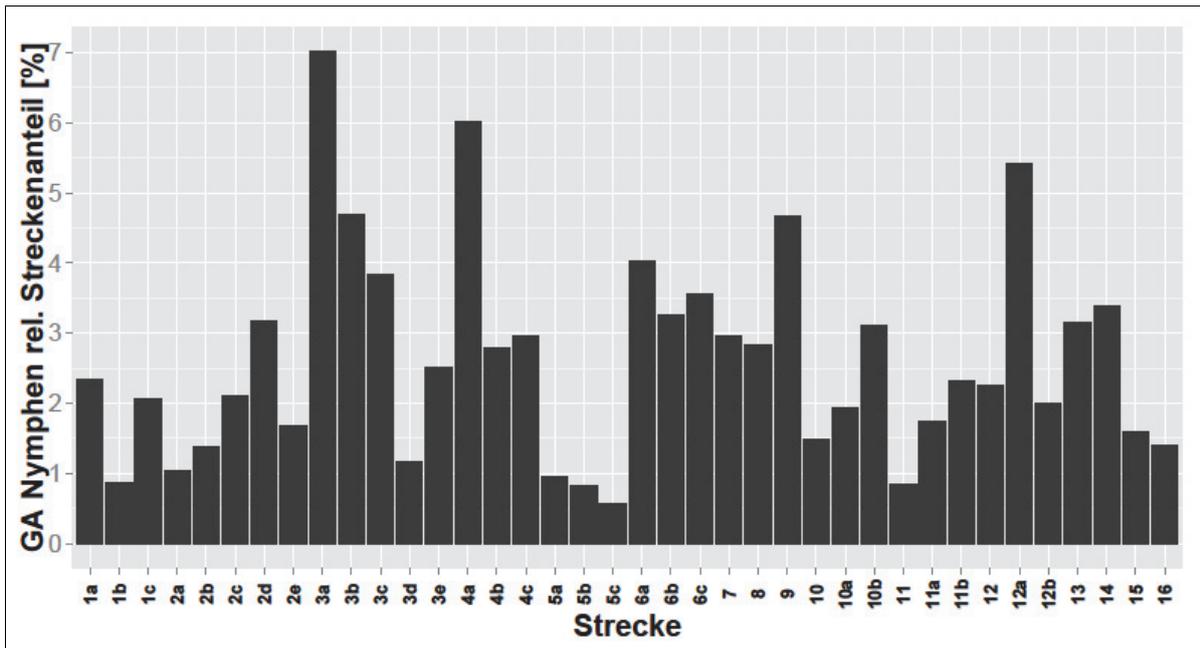
Mikro-Transekte: 1a – 6c, Makro-Transekte: 7-16; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und Jahr – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Jahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 19: Vergleich der Nymphenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, getrennt nach Jahren



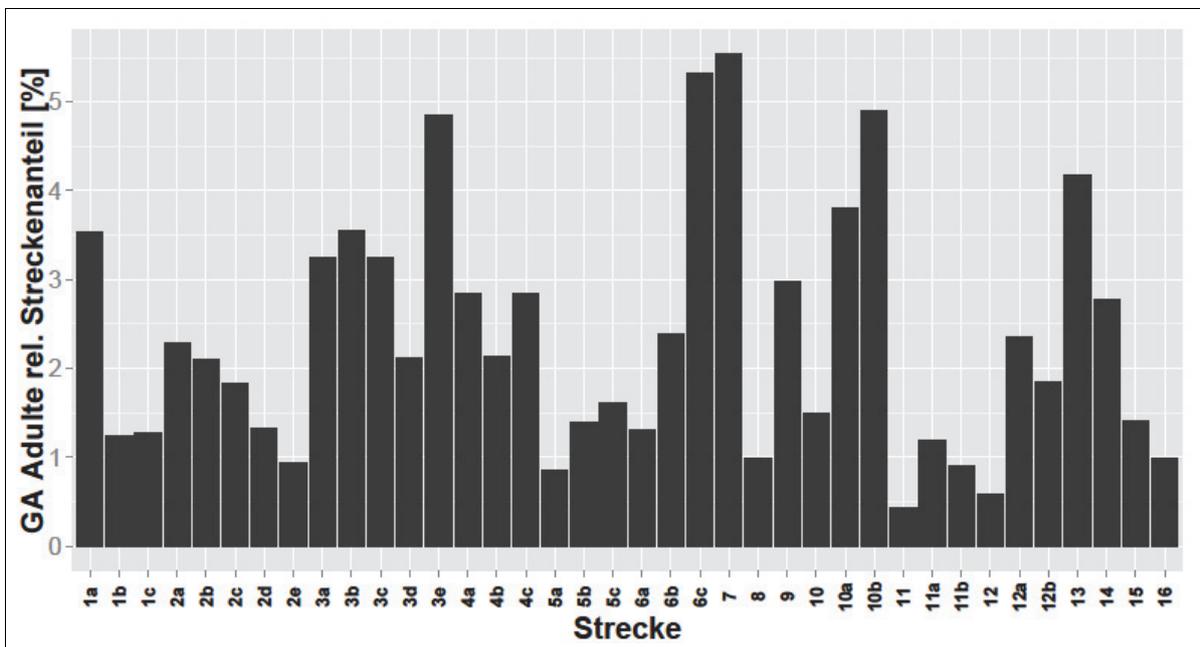
Mikro-Transekte: 1a – 6c, Makro-Transekte: 7-16; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und Jahr – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Jahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%.

**Abbildung 20: Vergleich der Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, getrennt nach Jahren**



Mikro-Transekte: 1a – 6c, Makro-Transekte: 7-16; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und drei Jahre – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Dreijahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Für alle Jahre ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 21: Vergleich der Nymphenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, 2010-2012 zusammen



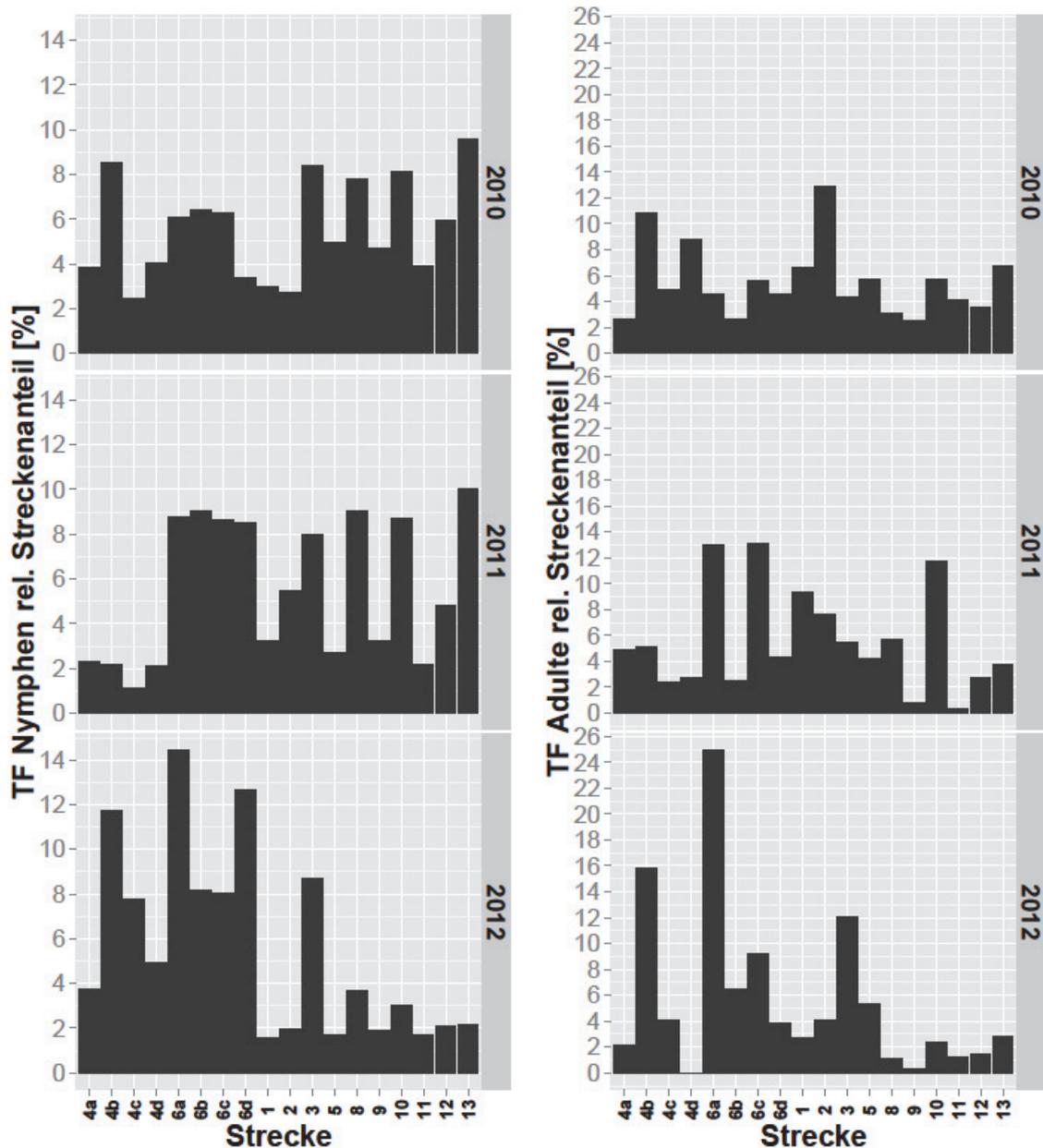
Mikro-Transekte: 1a – 6c, Makro-Transekte: 7-16; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und drei Jahre – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Dreijahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Für alle Jahre ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 22: Vergleich der Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Gatow, 2010-2012 zusammen

### **3.4.1.2 Tegel**

Am Standort Tegel waren strukturell das Gelände des Wirtschaftshofes und das Waldgebiet zu unterscheiden. Dabei ließen sich über alle drei Jahre im Schnitt ca. 70% der Nymphen und 80% der Adulten auf dem Wirtschaftshof flaggen (Abbildung 23, Abbildung 24). Dort waren im Mikrobereich die meisten Nymphen unterhalb einer flachen Böschung mit Laubbedeckung und kurzer Vegetation aktiv (Transekt 6). Im Durchschnitt waren hier auf allen Teil-Transekten von 2010 - 2012 je 8% des Jahresgesamtvorkommens der Nymphen zu flaggen (6a-6d: 2010: Ø 5%, 2011: Ø 9%, 2012: Ø 11%). Auf dem ebenerdigen Transekt 4 waren nur auf dem Teil-Transekt 4b viele Nymphen aktiv mit durchschnittlich 7% von 2010 - 2012, auf diesem Abschnitt lag ein großer Stamm Totholz. Dabei schwankten die Anteile zwischen den Jahren abhängig von der Vegetationshöhe, je niedriger die Vegetation desto mehr Nymphen ließen sich sammeln (2010: 8%, 2011: 2%, 2012: 12%). Bei den Makrotransekten gab es von 2010 - 2012 viele wirtssuchende Nymphen auf den Transekten unterhalb von Böschungen mit viel Laub (3: Ø 8%; 8, 10, 13: je Ø 7%), wobei die Aktivität der Nymphen im Wald in 2012 auf den Transekten 8, 10, und 13 deutlich geringer war als in den Vorjahren. Die insgesamt geringsten Schwankungen in der Aktivität über drei Jahre waren auf Transekt 3 auf dem Hof. Die Transekte 6 und 3 waren räumlich und strukturell miteinander verbunden. In diesem Bereich war der beprobte Abschnitt unterhalb einer kleinen Böschung durch niedrige Vegetation und viel Laub gekennzeichnet, angrenzend befand sich viel Unterholz, streckenweise lag dort Totholz. Diese Transekte waren eher schattig, zahlreiche Mäuselöcher waren im Boden zu sehen. Wenige Nymphen waren sowohl im Hofbereich auf ebenerdigen Transekten mit mittelhoher Vegetation (1, 2, 5: < 3%), als auch im Waldbereich auf den Transekten am oberen Grat einer abfallenden Böschung mit viel Laub (9, 11: < 3%) aktiv. Viele wirtssuchende Adulte waren über drei Jahre auf den Teil-Transekten 6a (Ø 14%), 6c (Ø 9%) und 4b (Ø 10%) im Mikro-Bereich zu flaggen. Im Gegensatz zu den Nymphen schwankten hier die Aktivitäten stark zwischen den Jahren. Im Makrobereich waren auf den Transekten 2 (Ø 8%), 3, 10 (je Ø 7%) und 1 (Ø 6%) anteilig die meisten Adulten auf Wirtssuche. Auch hier bestanden deutliche Schwankungen zwischen den Jahren. Wenige Adulte im Makrobereich waren auf den Transekten oberhalb einer Böschung (9, 11) und einer eher flachen Senke (12: je < 3%) aktiv. Auch in Tegel war die Zeckenverteilung von Habitatsstrukturen abhängig. Viele Zecken waren auf Transekten unterhalb einer Böschung zu flaggen, die charakterisiert waren durch Laubbedeckung, Schatten und viele Mäuselöcher im Boden (Transekte: 3, 6, 8, 13). Wenig Zecken waren auf Transekten mit über die Saison wechselnden Vegetationsstrukturen (Transekte 1, 2, 5) oder Transekten zu flaggen, die schattig und mit Laub bedeckt waren, am obersten Punkt zu einer Senke (Transekte: 9, 11). Die meisten wirtssuchenden Nymphen und Adulte in Tegel waren

auf Transekten unterhalb einer Böschung (6a, 6c, 3, 10) oder mit Totholz (4b), die wenigsten oberhalb einer Böschung aktiv (9, 11).

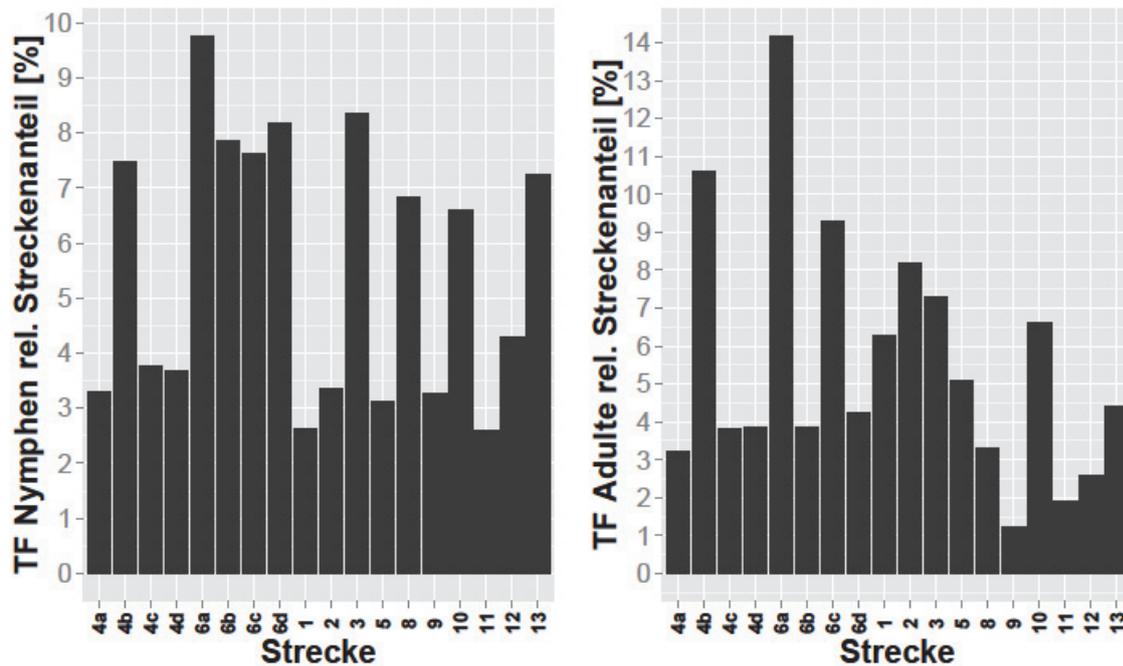


Mikro-Transekte: 4a-4d, 6a-6d, Makro-Transekte: 1-13; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und Jahr – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Jahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%.

**Wirtschaftshof:** Transekte 4a-4d, 6a-6d, 1-5: Gesamtaktivität Nymphen: 2010: 60%, 2011: 62%, 2012: 85%; Gesamtaktivität Adulte: 2010: 74%, 2011: 75%, 2012: 91%

**Wald:** Transekt 8-13: Gesamtaktivität Nymphen: 2010: 40%, 2011: 38%, 2012: 15%; Gesamtaktivität Adulte: 2010: 26%, 2011: 25%, 2012: 9%

**Abbildung 23: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Tegel, getrennt nach Jahren**



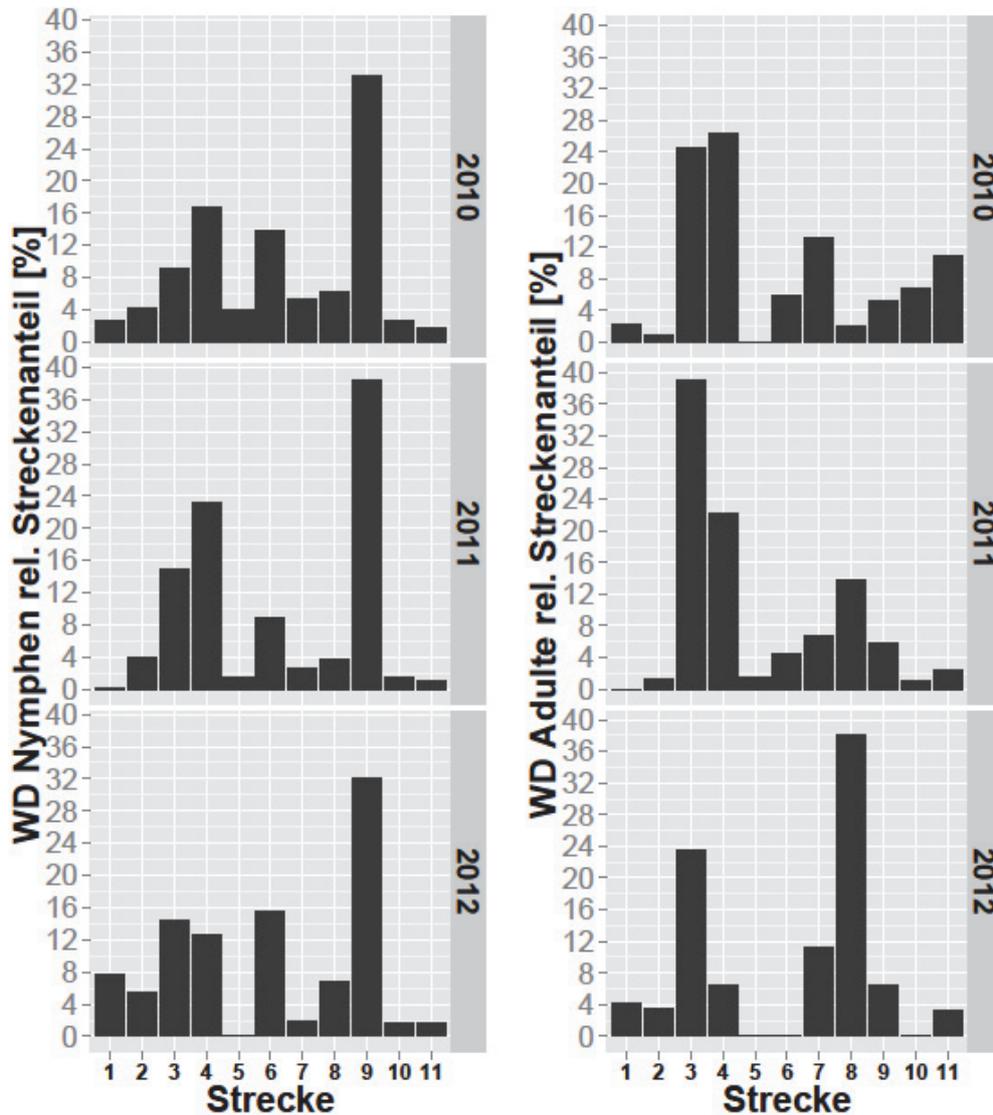
Mikro-Transekte: 4a-4d, 6a-6d, Makro-Transekte: 1-13; Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und drei Jahre – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Dreijahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Für alle Jahre ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 24: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Tegel, 2010-2012 zusammen

### 3.4.1.3 Wannsee

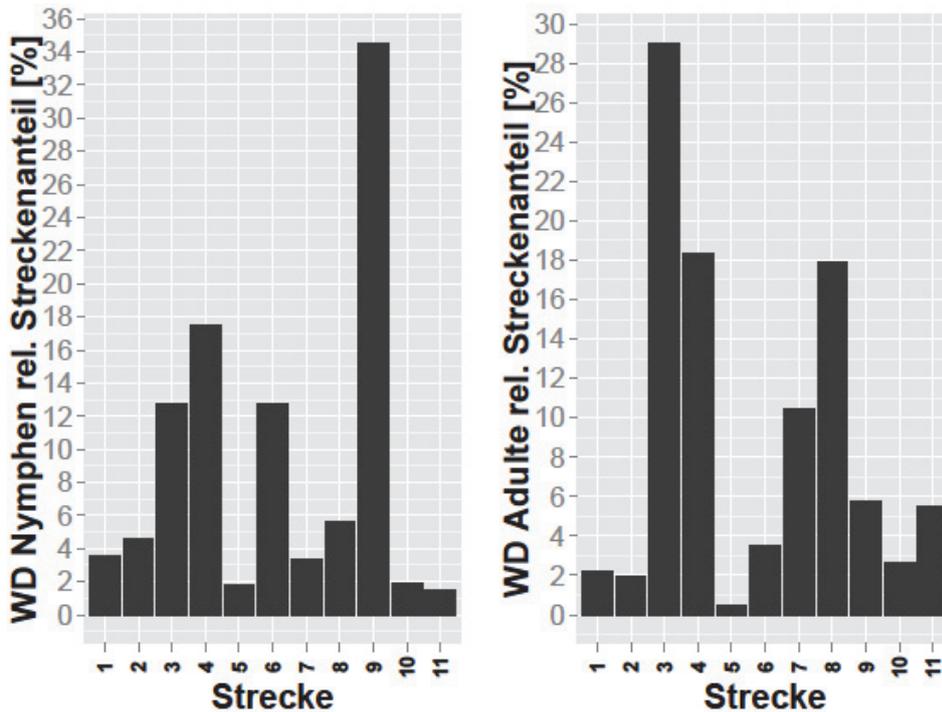
Wannsee war der Standort mit dem stärksten anthropogenen Einfluss und hatte die wenigsten Transekte, daher waren hier die Unterschiede zwischen den Transekten sehr deutlich erkennbar. Bei Betrachtung der relativen Anteile pro Transekt von 2010 bis 2012 fielen in Wannsee sowohl für Nymphen als auch für Adulte je vier Transekte mit vergleichsweise hoher Zeckenaktivität auf (Abbildung 25, Abbildung 26). Die Nymphen waren auf Transekten in direkter Nähe zu einem Kompostbereich (3), an einem Übergangsbereich (4) und entlang großer Holzaufhäufungen (6, 9) besonders häufig. Dabei waren mit rund 34% am meisten aktive Nymphen auf Transekt 9 zu flaggen, rund 17% auf Transekt 4 und je rund 12% auf den Transekten 3 und 6. Die geringste Aktivität war auf Wiesenflächen (10, 11) oder deren Begrenzung (5: je < 2%). Die meisten Adulten waren von 2010 bis 2012 auf den vier Transekten 3 (Ø 29%), 4 (Ø 18%), 7 (Ø 10%) und 8 (Ø 18%) auf Wirtssuche. Dabei war ihre Aktivität entlang dem Komposthaufen (3) vergleichsweise stabil zwischen den Jahren. Im Gegensatz dazu variierte deren Aktivität auf der Fläche vor dem Holzhaufen (8) zwischen den Jahren (2010: Ø 2%, 2011: Ø 14%) und sogar innerhalb des Jahres 2012 (Ø 38%). Denn in 2012 wurden allein acht von insgesamt zehn Adulten an nur einem Tag geflaggt. Die wenigsten Adulten in allen drei Jahren mit 2% und weniger waren

auf den Transekten 1, 2 und 5 auf Wirtssuche. Am Standort Wannsee waren die meisten Nymphen und Adulten entlang des Kompostbereichs (3) und am Übergangsbereich (4) aktiv, die wenigsten an der Wiesenbegrenzung (5).



Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und Jahr – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{normS}$ ) dividiert durch die normierte Jahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Pro Jahr ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 25: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Wannsee, getrennt nach Jahren



Für die Berechnung der relativen Anteile geflaggter Zecken wurden – je Standort und drei Jahre – die normierten Dichten je Transekt ( $D_{norms}$ ) dividiert durch die normierte Dreijahresgesamtdichte ( $D_{norm}$ ) und mit 100% multipliziert. Für alle Jahre ergibt die Summe der Balken 100%.

Abbildung 26: Vergleich der Nymphen- und Adultenaktivität über deren relativen Anteile [%] je Transekt in Wannsee, 2010-2012 zusammen

### 3.4.2 Streckenvergleich alle Jahre zusammen – räumliche Standort-Heterogenität in der Zeckenaktivität

Um den Grad der Unterschiedlichkeit in der räumlichen Verteilung von Nymphen bzw. Adulten im Standort (Gatow, Tegel, Wannsee) zu bestimmen und damit einen Vergleich zwischen den Standorten bezüglich der räumlichen Zeckenaktivität zu ermöglichen, wurden zwei – ein rechnerischer und ein grafischer – Betrachtungsansätze entwickelt (2.4.4.6). Für den rechnerischen Ansatz wurden die Dichten je Transekt und Standort über die Jahre 2010 - 2012 zusammen betrachtet und miteinander im Friedman-Test verglichen, damit wurden alle möglichen Streckenpaarungen auf signifikante Unterschiede untersucht. Anschließend wurde die Zahl der signifikanten Streckenpaare des Post-Hoc-Tests ( $n_{PHT}$ ) durch die Anzahl der getesteten Transekte ( $n_T$ ) dividiert, mit Hilfe dieses Standort-Quotienten ( $Q_x$ ) können nun Aussagen über die Heterogenität der Standorte getroffen werden. Für die grafische Darstellung wurden die Mittelwerte der Dichten aller Sammelereignisse für Nymphen und Adulte je Transekt und Standort über drei Jahre gebildet und im Boxplot gegeneinander aufgetragen. Sowohl für Nymphen als auch für Adulte war Wannsee der Standort mit der größten Heterogenität in der Transekt-Nutzung ( $Q_{WD_{Ny}} \approx 3,1$ ;  $Q_{WD_{Ad}} \approx 1,4$ ), gefolgt von

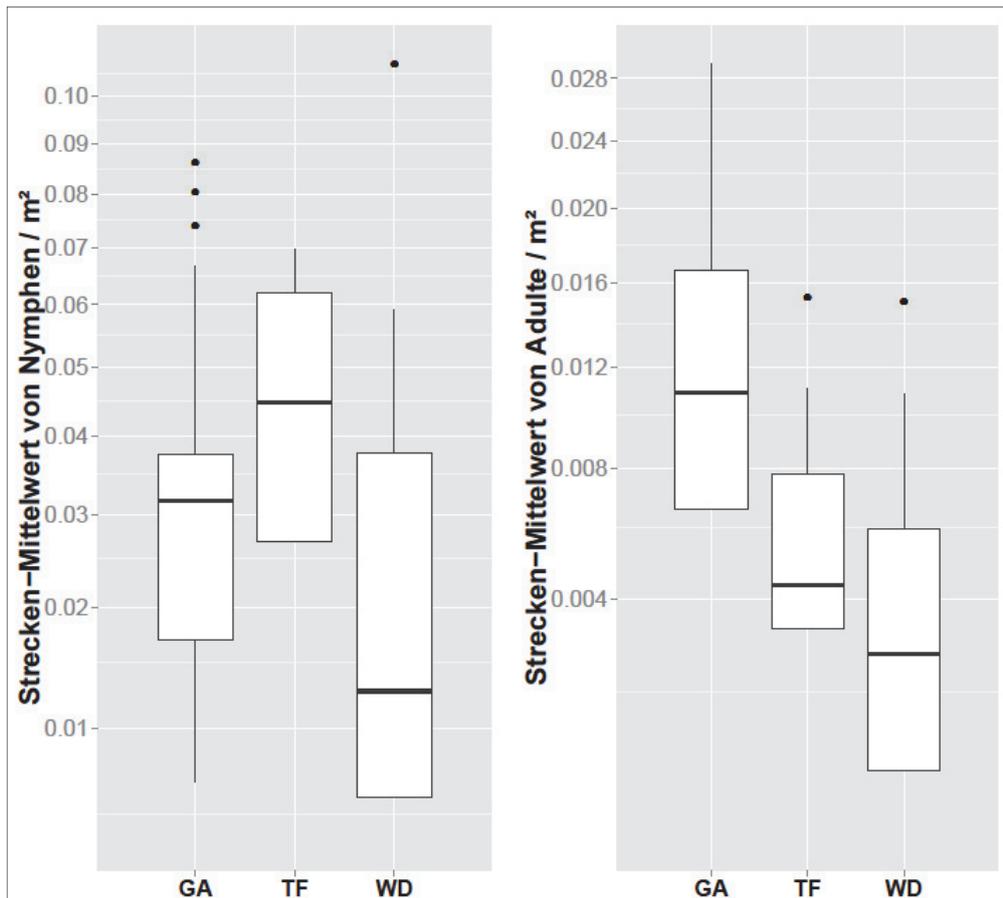
Gatow ( $Q_{GA\_Ny} \approx 1,7$ ;  $Q_{GA\_Ad} \approx 0,7$ ) und Tegel ( $Q_{TF\_Ny} \approx 0,5$ ;  $Q_{TF\_Ad} \approx 0,05$ ; Tabelle 11, Abbildung 27, Anhang: Tabelle 32).

**Tabelle 11: Ergebnisse des Post-Hoc-Tests mit Quotientenberechnung (2010-2012)**

Standort*	n Transekte ( $n_T$ )	n signifikante Paare ( $n_{PHT}$ )		Quotient ( $Q_x = n_{PHT} / n_T$ )	
		Ny	Ad	Ny*	Ad*
<b>GA<sup>#</sup></b>	29	49	20	1,69	0,69
<b>TF</b>	18	10	1	0,56	0,06
<b>WD</b>	11	34	15	3,09	1,36

\* GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee, Ad: Adulte, Ny: Nymphen; <sup>#</sup>ohne Transekte 10-12

Bei Betrachtung der signifikanten Ergebnisse in den Post-Hoc-Tests selber fällt auf, dass es Unterschiede zwischen den Nymphen und Adulten bei den einzelnen signifikanten Transekt-Paarungen gab und sie stadienabhängig unterschiedliche Aktivitäten je Transekt-Paarung aufwiesen (Anhang: Tabelle 33, Tabelle 34, Tabelle 35, Tabelle 36, Tabelle 37, Tabelle 38). Die Aktivität von Adulten und Nymphen bezogen auf konkrete Transekte war damit nicht kongruent. Diese Beobachtung gilt für alle Standorte. Damit ist zu vermuten, dass Nymphen und Adulte bestimmte Streckentypen verschieden tolerieren. Für beide Betrachtungsansätze – rechnerisch und grafisch – stimmen die Ergebnisse überein. Die Transekt-Nutzung von Nymphen und Adulten ist unterschiedlich heterogen zwischen den Standorten, dabei ist Wannsee der Standort mit der größten Heterogenität.



GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Für die grafische Darstellung wurden über die drei Jahre 2010-2012 die Mittelwerte der Dichten aller Sammelereignisse je Transekt und Standort getrennt für Nymphen und Adulte in R© berechnet und im Boxplot gegeneinander aufgetragen. Zur besseren Übersicht wurde die y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel transformiert.

Abbildung 27: Boxplots über die gemittelte Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte je Transekt und Standort, 2010 – 2012 zusammen

### 3.5 Zeckenaktivität für Nano

Für die kleinskalige Untersuchung der Zeckenverteilung im Standort wurden ca. alle zwei Wochen in Gatow<sub>N</sub> und in Tegel<sub>N</sub> Zecken auf Quadranten von einem Quadratmeter von 2010 - 2012 geflaggt (Nano-Bereich = N). In Gatow<sub>N</sub> wurden auf 26 m<sup>2</sup> in den drei Jahren 140 Nymphen und 87 Adulte geflaggt (Tabelle 12). In Tegel<sub>N</sub> waren in dieser Zeit 173 Nymphen und 11 Adulte aktiv auf 21 m<sup>2</sup> Untersuchungstransekt.

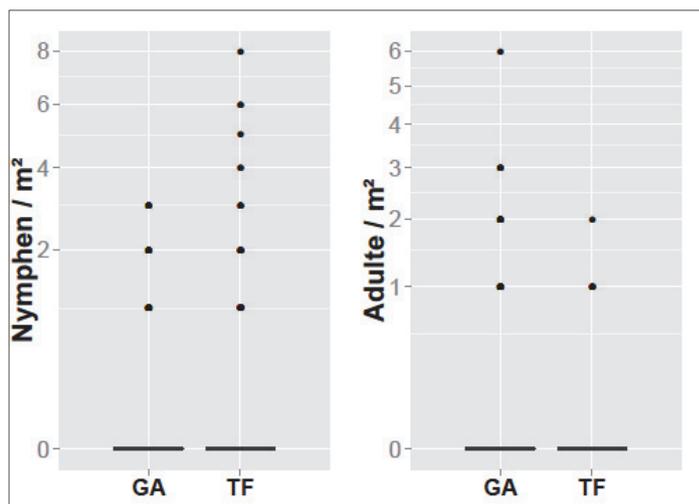
Tabelle 12: Absolute Zahl gesammelter *I. ricinus* und Verhältnis der Stadien zueinander im Nano Bereich

Standort	Jahr	Gesamt	Nymphen	Adulte	M <sup>#</sup>	W <sup>#</sup>	Ny:Ad <sup>#</sup>	M:W	Ny/m <sup>2</sup>	m_Ny <sup>#</sup>	Ad/m <sup>2</sup>	m_Ad <sup>#</sup>
Gatow <sub>N</sub> <sup>*</sup>	2010	58	35	23	15	8	1,5	1,9	0,096	0	0,063	0
	2011	109	61	48	30	18	1,3	1,7	0,147	0	0,113	0
	2012	60	44	16	6	10	2,7	0,6	0,113	0	0,041	0
	Summe	227	140	87	51	36	1,6	1,4	0,12	0	0,073	0
Tegel <sub>N</sub> <sup>*</sup>	2010	45	43	2	1	1	21,5	1	0,143	0	0,007	0
	2011	117	113	4	2	2	28,2	1	0,333	0	0,012	0
	2012	22	17	5	3	2	3,4	1,5	0,054	0	0,016	0
	Summe	184	173	11	6	5	15,7	1,2	0,18	0	0,012	0

\* N=Nano, Transektlänge insgesamt pro Nano-Standort: Gatow<sub>N</sub>: 26m<sup>2</sup>, Tegel<sub>N</sub>: 21m<sup>2</sup>; #Ad: Adulte, M: Männchen, m: Median, Ny: Nymphen, W: Weibchen

### 3.5.1 Zeckenaktivität im Standortvergleich über drei Jahre (räumliche Betrachtung ohne Zeitfaktor)

Für den standortabhängigen Aktivitäts-Vergleich von wirtssuchenden Nymphen bzw. Adulten wurden deren Nano-Gesamtdichten von 2010 bis 2012 zwischen den Standorten Gatow<sub>N</sub> und Tegel<sub>N</sub> mit dem Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon-Rangsummen-Test miteinander verglichen (2.4.4.2). In Tegel<sub>N</sub> waren mit 0,18 Ny/m<sup>2</sup> rund 50% mehr Nymphen auf Wirtssuche als in Gatow<sub>N</sub> mit 0,12 Ny/m<sup>2</sup> ( $p_{Ny} < 0,05$ ; Abbildung 28, Tabelle 12, Anhang: Tabelle 39). Bei den Adulten war es umgekehrt: Am meisten Adulte waren in Gatow<sub>N</sub> aktiv mit 0,073 Ad/m<sup>2</sup>, in Tegel<sub>N</sub> dagegen ca. 84% weniger mit 0,012 Ad/m<sup>2</sup> ( $p_{Ad} < 0,001$ ). Beim Vergleich der aktiven Zecken-Stadien fanden sich die meisten wirtssuchenden Nymphen in Tegel<sub>N</sub> und die meisten Adulten in Gatow<sub>N</sub>.

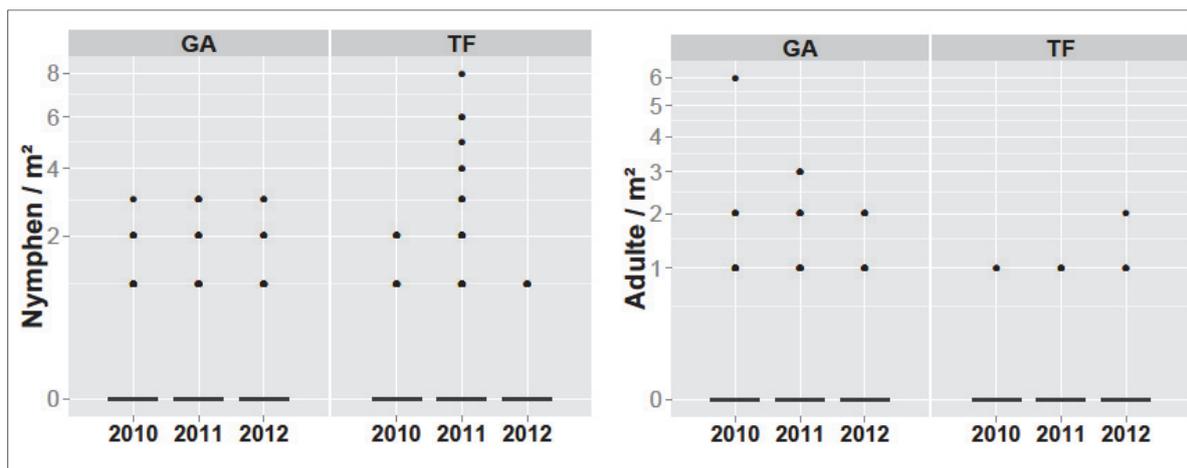


\*Zur besseren Übersicht wurde die y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel transformiert.

Abbildung 28: Boxplotdarstellung\* der Dichte wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre

### 3.5.2 Vergleich der Zeckenaktivität zwischen den Jahren der beiden Standorte (Zeitliche Betrachtung, ist ortsabhängig)

Um zu bestimmen, ob sich die Aktivität von Nymphen bzw. Adulten in den jeweiligen Nano-Standorten Gatow<sub>N</sub> und Tegel<sub>N</sub> zwischen den Jahren 2010, 2011 und 2012 unterschied, wurden die Nano-Jahresgesamtdichten eines Standortes und Stadiums im Kruskal-Wallis-Test und ungepaarten Wilcoxon Rangsummen Test miteinander verglichen (2.4.4.3). In Gatow<sub>N</sub> waren die Nymphen in allen drei Jahren ähnlich aktiv mit durchschnittlich 0,12 Ny/m<sup>2</sup> ( $p_{KW} = ns$ ; Abbildung 29, Tabelle 12, Anhang: Tabelle 40). In Tegel<sub>N</sub> dagegen unterschied sich die Aktivität der Nymphen in allen drei Jahren ( $p_{KW} < 0,001$ ). Dabei waren in 2011 mit 0,33 Ny/m<sup>2</sup> die meisten Nymphen auf Wirtssuche. Im Vergleich dazu waren in 2012 mit 0,05 Ny/m<sup>2</sup> ca. 85% weniger Nymphen zu flaggen ( $p_{2011-2012} < 0,001$ ). Die meisten Adulten mit 0,11 Ad/m<sup>2</sup> waren in Gatow<sub>N</sub> im Jahr 2011 auf Wirtssuche. In 2012 dagegen waren es mit 0,04 Ad/m<sup>2</sup> ca. 64% weniger ( $p_{2011-12} < 0,05$ ). Im Unterschied zu Gatow<sub>N</sub> waren in Tegel<sub>N</sub> zwischen den drei Jahren ähnlich viele Adulte durchschnittlich 0,01 Ad/m<sup>2</sup> auf Wirtssuche ( $p_{KW} = ns$ ). Zwischen den Jahren variierte die Aktivität der Nymphen am wenigsten in Gatow<sub>N</sub> und die der Adulten in Tegel<sub>N</sub>.



\*Zur besseren Übersicht wurde die y-Achse mit Hilfe der Quadratwurzel transformiert.

Abbildung 29: Boxplotdarstellung\* der Dichte wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für beide Standorte

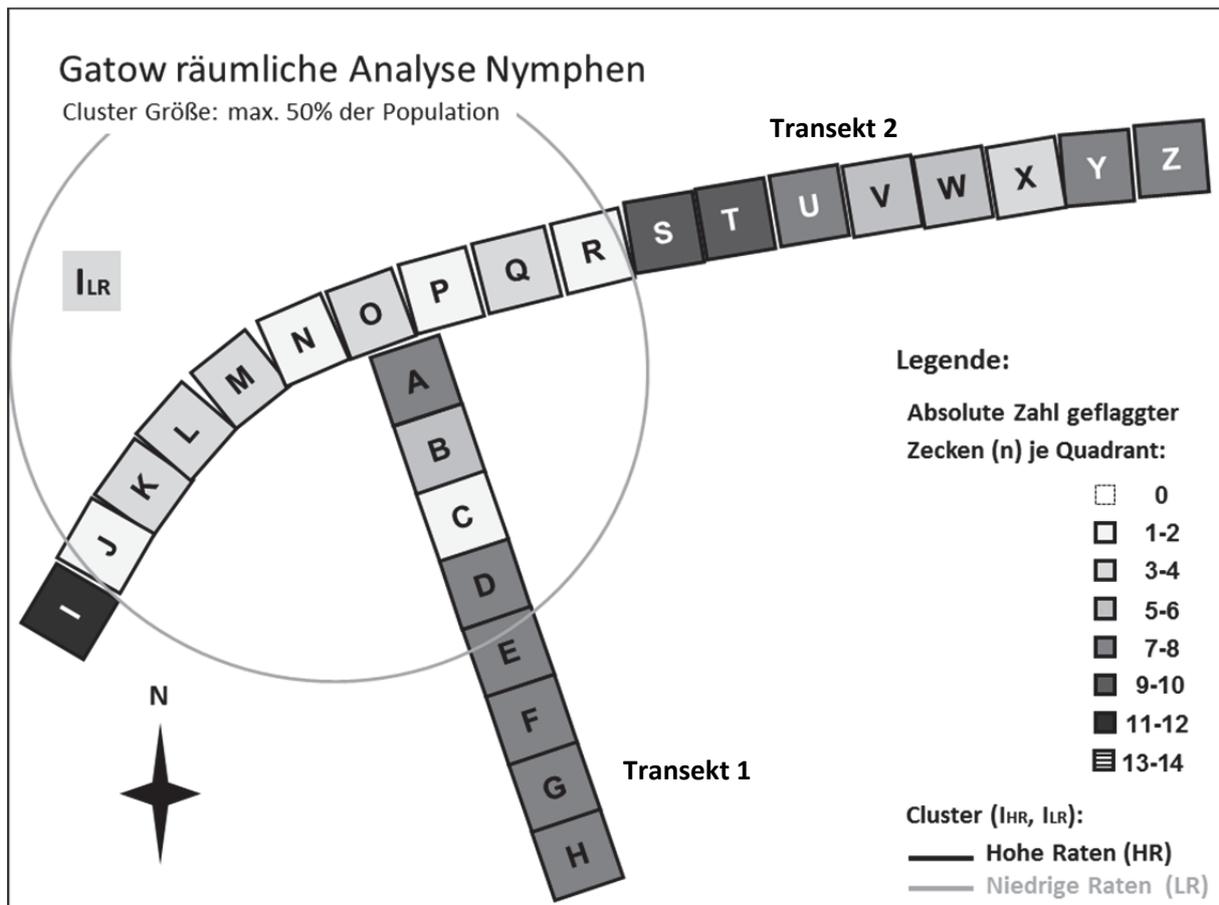
### 3.6 Räumliche Betrachtung Nano: SaTScan™ Ergebnisse

Um die kleinskalige räumliche Verteilung der Zecken im Nanobereich zu untersuchen, wurden die Gesamtzahlen der Nymphen und der Adulten für die Jahre 2010 - 2012 in SaTScan™ punktweise - also je Quadrant - miteinander verglichen (2.4.5). Dabei wurde zwischen Clustern mit vielen Zecken (hohen Raten = HR) und wenigen Zecken (niedrigen Raten = LR) unterschieden. Zum besseren Verständnis ist die räumliche Anordnung der absoluten Zahl an geflaggteten Zecken auf den Quadranten der untersuchten Transekte graphisch durch unterschiedliche Grautöne/Schraffierungen dargestellt. Die mit Hilfe von

SaTScan™ gefundenen Cluster sind mit Kreisen um die entsprechenden Quadranten mit hohen (schwarz) bzw. niedrigen Raten (grau) kenntlich gemacht.

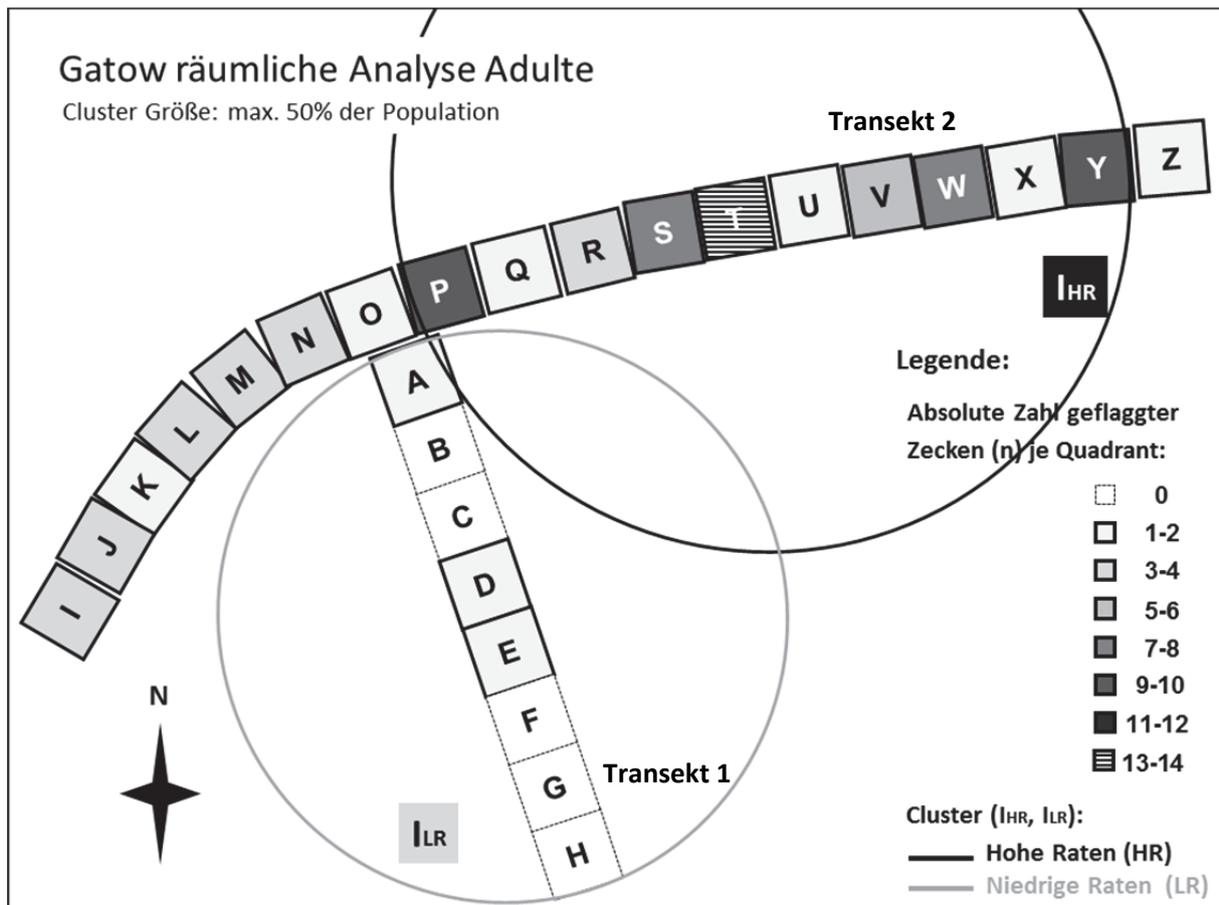
### 3.6.1 Gatow

In den Quadranten D-H, I und S-Z waren vergleichsweise viele Nymphen über die drei Jahre mit durchschnittlich  $0,16 \text{ Ny/m}^2$  aktiv und stellten damit einem Gesamtanteil von ca. 71%, ein signifikantes Cluster vermehrter Aktivität ließ sich allerdings nicht differenzieren (Abbildung 30). Deutlich wenige aktive Nymphen waren auf der Schnittstelle der Quadranten A-D und J-R auf Wirtssuche mit einer Durchschnittsdichte von  $0,08 \text{ Ny/m}^2$  (Cluster I<sub>LR</sub>:  $p_{\text{Ny}} = 0,0017$ ). Viele adulte Zecken waren in den Quadranten P-Y mit rund  $0,13 \text{ Ad/m}^2$  aktiv, sie machten 65% der Gesamtzahl aus (Cluster I<sub>HR</sub>:  $p_{\text{Ad}} < 0,001$ , Abbildung 31). Deutlich wenige Adulte waren mit insgesamt 3% durchschnittlich  $0,008 \text{ Ad/m}^2$  in den Quadranten A-H auf Wirtssuche (Cluster I<sub>LR</sub>:  $p_{\text{Ad}} < 0,001$ ). Die beiden Transekte in Gatow<sub>N</sub> hatten unterschiedliche Vegetationsstrukturen. Das Transekt<sub>1</sub> (Quadranten A-H) war primär durch Waldboden charakterisiert, der mit Laub und wenig Vegetation im hinteren Abschnitt bedeckt war. Das Transekt<sub>2</sub> (Quadranten I-Z) hingegen hatte überwiegend bis zu ca. 20 cm hohes Gras. Betrachtet man die beschriebenen Cluster und Verteilungen für Nymphen und Adulte gleichzeitig, dann zeigten sich unterschiedliche, sich teilweise überschneidende Räume höherer Aktivität von Nymphen und Adulten auf den jeweiligen Transekten. Auf Transekt<sub>1</sub> (A-H) fanden sich eher viele Nymphen und wenig Adulte, in den Quadranten S-Y (Transekt<sub>2</sub>) waren sowohl viele Nymphen als auch Adulte aktiv.



Graphische Darstellung der räumlichen Anordnung der absoluten Zahl an von 2010-2012 geflaggten Zecken auf den Quadranten der untersuchten Transekte (Transekt<sub>1</sub>: Quadranten A-H, Transekt<sub>2</sub>: Quadranten I-Z) durch unterschiedliche Grautöne/Schraffierungen. Die mit Hilfe von SaTScan™ identifizierte signifikanten Cluster sind mit Kreisen um die entsprechenden Quadranten mit hohen (schwarz) bzw. niedrigen Raten (grau) kenntlich gemacht.

Abbildung 30: Clusteranalyse Gatow Nymphen 2010 – 2012

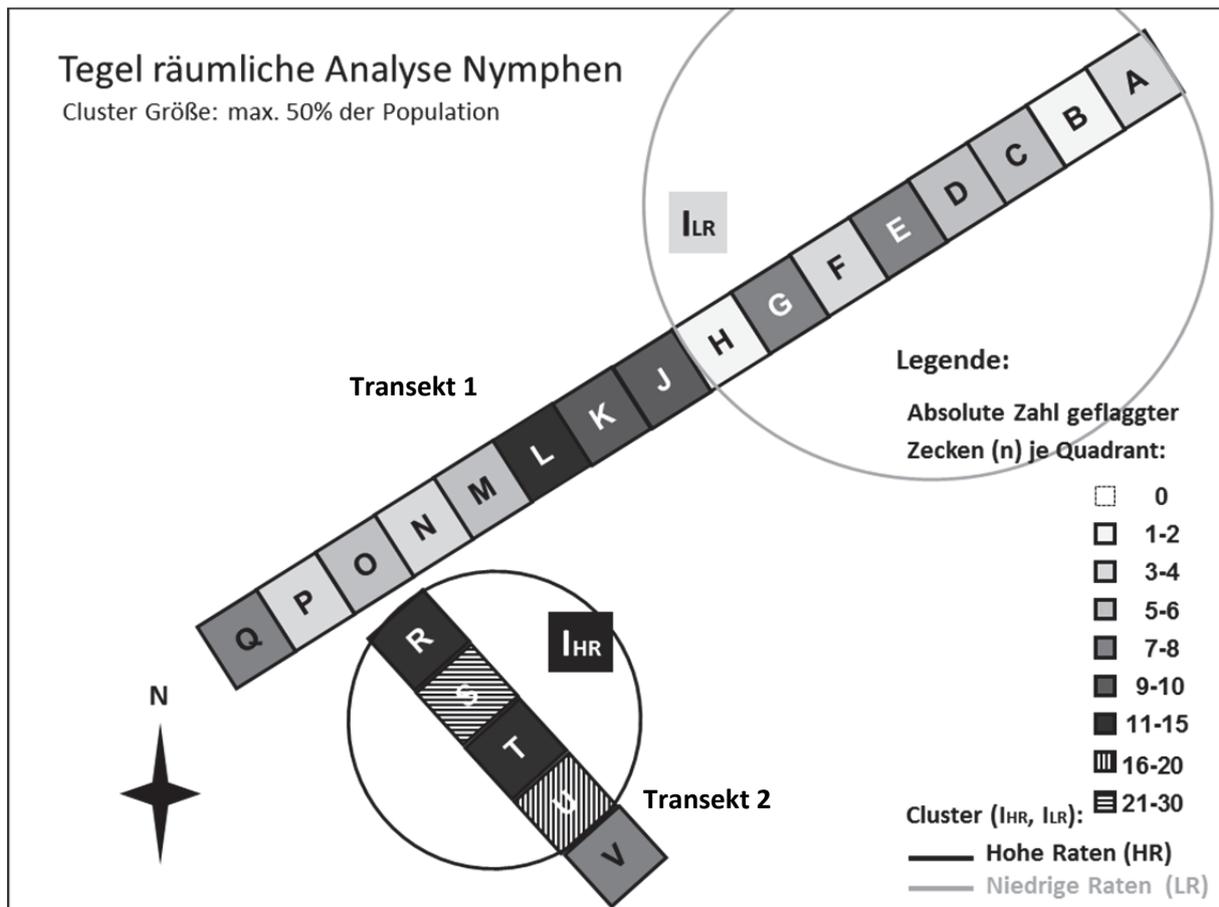


Graphische Darstellung der räumlichen Anordnung der absoluten Zahl an von 2010-2012 geflaggten Zecken auf den Quadranten der untersuchten Transekte (Transekt<sub>1</sub>: Quadranten A-H, Transekt<sub>2</sub>: Quadranten I-Z) durch unterschiedliche Grautöne/Schraffierungen. Die mit Hilfe von SaTScan™ identifizierte signifikante Cluster sind mit Kreisen um die entsprechenden Quadranten mit hohen (schwarz) bzw. niedrigen Raten (grau) kenntlich gemacht.

**Abbildung 31: Clusteranalyse Gatow Adulte 2010 – 2012**

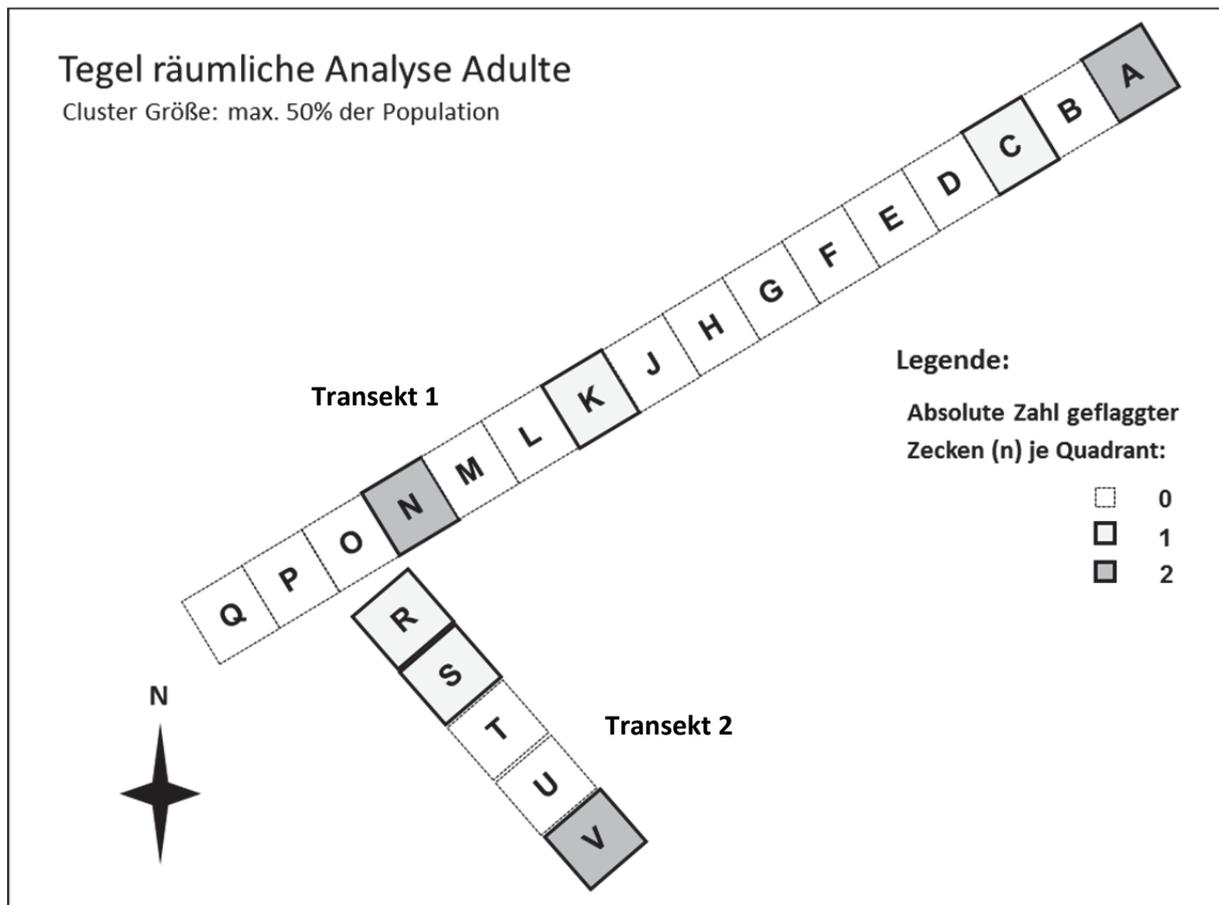
### 3.6.2 Tegel

Mit insgesamt 37% waren viele Nymphen in den Quadranten R-U mit durchschnittlich 0,35 Ny/m<sup>2</sup> aktiv (Cluster I<sub>HR</sub>:  $p_{Ny} < 0,001$ ; Abbildung 32). Vergleichsweise wenige Nymphen waren mit durchschnittlich 0,11 Ny/m<sup>2</sup> und insgesamt 30% auf den Quadranten A-H zu fliegen (Cluster I<sub>LR</sub>:  $p_{Ny} < 0,01$ ). Da sich insgesamt nur wenige Adulte im Nanobereich sammeln ließen, fielen keine signifikanten Cluster auf (Abbildung 33). Durchschnittlich 0,02 Ad/m<sup>2</sup> waren in den Quadranten N, O, R-V auf Wirtssuche mit insgesamt 62%. In Tegel<sub>N</sub> war die Vegetation auf beiden Transekten vergleichbar. Hier gab es eine dicke Laubschicht, teilweise durchzogen von Efeu und Springkraut. Legt man die Cluster und Verteilungsmuster für Nymphen und Adulte übereinander, zeigte sich im Gegensatz zu Gatow eine räumliche Überschneidung der Aktivitäten beider Stadien. Viele Nymphen und Adulte wurden in Tegel<sub>N</sub> in den Quadranten R-V geflaggt, wenige dagegen im Bereich A-H.



Graphische Darstellung der räumlichen Anordnung der absoluten Zahl an von 2010-2012 geflaggten Zecken auf den Quadranten der untersuchten Transekte (Transekt1: Quadranten A-Q, Transekt2: Quadranten R-V) durch unterschiedliche Grautöne/Schraffierungen. Die mit Hilfe von SaTScan™ identifizierte signifikanten Cluster sind mit Kreisen um die entsprechenden Quadranten mit hohen (schwarz) bzw. niedrigen Raten (grau) kenntlich gemacht.

Abbildung 32: Clusteranalyse Tegel Nymphen 2010 – 2012



Graphische Darstellung der räumlichen Anordnung der absoluten Zahl an von 2010-2012 geflaggten Zecken auf den Quadranten der untersuchten Transekte (Transekt<sub>1</sub>: Quadranten A-Q, Transekt<sub>2</sub>: Quadranten R-V) durch unterschiedliche Grautöne/Schraffierungen.

Abbildung 33: Clusteranalyse Tegel Adulte 2010 – 2012

### 3.7 Prävalenzen und Genospeziesverteilung

Zur Bestimmung der Prävalenz verschiedener Lyme-Borrelien in den einzelnen Standorten Gatow, Tegel, Wannsee wurden stichprobenartig Nymphen und Adulte aus den Jahren 2010 und 2011 mit Hilfe molekularbiologischer Methoden auf DNA von *B. burgdorferi* s.l. untersucht.

#### 3.7.1 Voruntersuchung

Um zu entscheiden, ob Aussagen zu den Infektionsraten für Männchen und Weibchen (Adulte) des gesamten Standortes (Nano-, Mikro und Makrotransekte) gleichermaßen getroffen werden können, wurde in einer Voruntersuchung mit dem Fisher-Exact-Test für alle Standorte (Gatow, Tegel, Wannsee) und Jahre (2010, 2011) zusammen und getrennt geprüft, ob sich die Infektionsraten zwischen Männchen und Weibchen unterscheiden. Die Berechnungen wurden für die Gesamtstandorte - also Nano-, Mikro und Makrotransekte durchgeführt (2.4.7.2). Es gab annähernd gleiche Verhältnisse von untersuchten Männchen

und Weibchen (Tabelle 13). Im Fisher Test ergaben sich für alle Betrachtungen keine signifikanten Unterschiede zwischen dem Anteil infizierter Männchen und infizierter Weibchen. Es gab damit keine nachweisbaren Unterschiede in den Infektionsraten der Männchen und Weibchen, unabhängig und abhängig von Standort und Zeit.

**Tabelle 13: Vergleich (Fisher Test) und Verhältnis von untersuchten Weibchen und Männchen (Adulte *I. ricinus*) für alle Jahre und Standorte zusammen und getrennt**

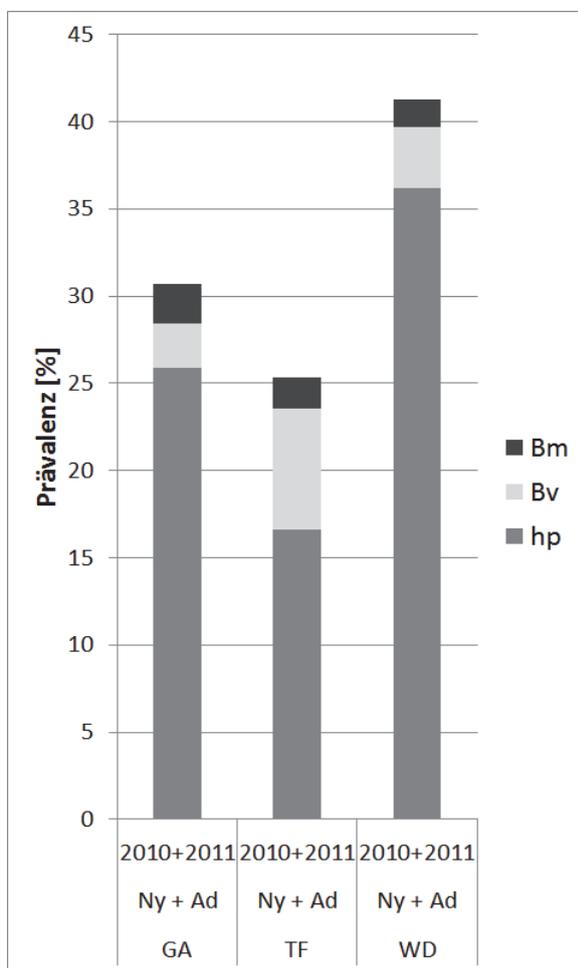
Standort* (N+MM) <sup>1</sup>	Jahr	Stadium	n_uts. <sup>2</sup>	pos. <sup>3</sup>	Fisher Test	Verhältnis	
						W:M <sup>4</sup>	pos. : uts.
Alle	Alle	W	281	117	ns (0,88)	0,94	0,42
		M	299	121			0,40
GA	Alle	W	90	28	ns (0,57)	0,82	0,31
		M	110	41			0,37
TF	Alle	W	106	38	ns (0,67)	1,06	0,36
		M	100	31			0,31
WD	Alle	W	85	51	ns (0,80)	0,96	0,60
		M	89	49			0,55
GA	2010	W	42	14	ns (1)	0,74	0,33
		M	57	18			0,32
	2011	W	48	14	ns (0,34)	0,91	0,29
		M	53	23			0,43
TF	2010	W	60	19	ns (0,68)	1,30	0,32
		M	46	12			0,26
	2011	W	46	19	ns (0,71)	0,85	0,41
		M	54	19			0,35
WD	2010	W	47	29	ns (1)	0,84	0,62
		M	56	34			0,61
	2011	W	38	22	ns (0,68)	1,15	0,58
		M	33	15			0,45

<sup>1</sup>GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; <sup>2</sup>N: Nano-Bereich, MM: Mikro- & Makro-Bereich; <sup>2</sup>n\_uts.: n (Anzahl) untersucht; <sup>3</sup>pos.: positiv, <sup>4</sup>W: Weibchen, M: Männchen; im Fisher Test wurden untersuchte und positive Weibchen getestet gegen untersuchte und positive Männchen

### 3.7.2 Gesamtprävalenzvergleich zwischen den Standorten und im Standort

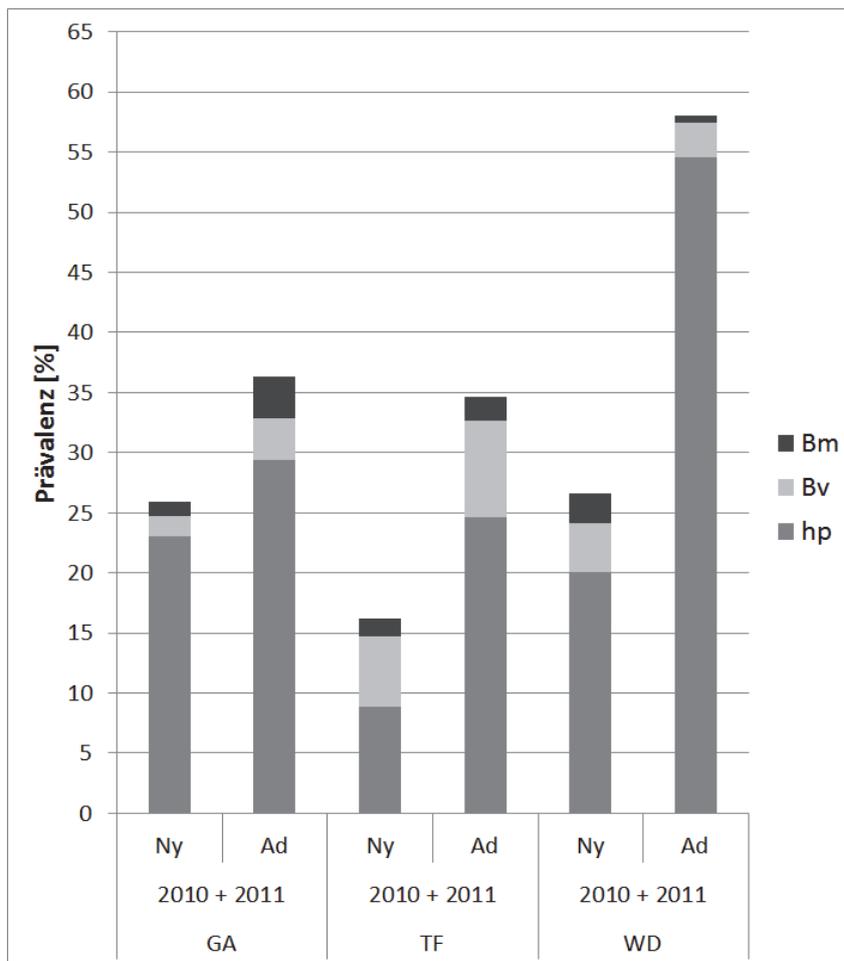
Um die Gesamtprävalenz (P) von Lyme-Borrelien in wirtssuchenden Nymphen und Adulten der Standorte Gatow, Tegel und Wannsee zu bestimmen, wurden wenn vorhanden mindestens 100 Nymphen bzw. Adulte für die Jahre 2010 und 2011 mittels PCR auf Spirochäten-DNA untersucht und die positiven PCR-Produkte sequenziert. Der Vergleich der Gesamtprävalenzen wurde mit Hilfe des Fisher-Exact-Tests durchgeführt und die p-Werte mit der Holm-Korrektur angepasst, dazu wurde *B. miyamotoi* nicht in die Betrachtung einbezogen (2.4.7.3). In Wannsee waren im gesamten Untersuchungszeitraum mit rund 40% die meisten wirtssuchenden Zecken mit Lyme-Borrelien infiziert ( $p_{WD-GA} < 0,01$ ,  $p_{WD-TF} <$

0,001), während in Gatow und Tegel etwa ein Viertel der Zecken Lyme-Borrelien beherbergten ( $P_{GA} \approx 28\%$ ,  $P_{TF} \approx 24\%$ , Abbildung 34, Tabelle 14, Anhang: Tabelle 47). Dabei hatten die Nymphen in Tegel mit 15% die deutlich niedrigste Gesamtprävalenz ( $p_{TF-GA/WD} < 0,05$ ) im Vergleich zu Gatow ( $P \approx 25\%$ ) und Wannsee ( $P \approx 24\%$ , Abbildung 35). Dagegen waren die Adulten in Wannsee am stärksten infiziert mit rund 57% ( $p_{WD-GA/TF} < 0,001$ ) gegenüber Gatow und Tegel mit einer Prävalenz von 33%. Im Vergleich der Gesamtprävalenz von Nymphen und Adulten innerhalb eines Standortes zwischen Teilgebieten, konnten keine signifikanten Unterschiede in den Stadien und Jahren festgestellt werden (2.4.7.5, Fisher-Exact-Test:  $p = ns$ , Anhang: Tabelle 48). An allen Standorten waren weniger Nymphen infiziert als Adulte. Im Gesamtprävalenzvergleich der Standorte waren die meisten infizierten Nymphen in Gatow und Wannsee zu finden, die meisten infizierten Adulten in Wannsee.



*Bm* = *B. miyamotoi*, *Bv* = *B. valaisiana*, *hp* = humanpathogen (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*), *Ny*: Nymphen, *Ad*: Adulte, *GA*: Gatow, *TF*: Tegel, *WD*: Wannsee

**Abbildung 34: Prävalenzübersicht für wirtssuchende Nymphen und Adulte zusammen betrachtet, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet**



*Bm* = *B. miyamotoi*, *Bv* = *B. valaisiana*, *hp* = humanpathogen (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*), *Ny*: Nymphen, *Ad*: Adulte, *GA*: Gatow, *TF*: Tegel, *WD*: Wannsee

**Abbildung 35: Prävalenzübersicht für wirtssuchende Nymphen und Adulte getrennt betrachtet, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet**

Tabelle 14: Borrelien-Prävalenz in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet

Standort	Stadium	n uts	P_Lyme-inf [%]	P_hp [%]	Bm [%]	uts <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]					
						Ba	Bs	Bb	Bg	Bv	DI
Gatow	Ny	239	24,7	23,0	1,3	16,3	0,0	1,3	5,4	1,7	0,4 <sup>a</sup>
	Ad	201	32,8	29,4	3,5	15,4	0,0	7,5	6,5	3,5	1,5 <sup>b</sup>
	Ges	440	28,4	25,9	2,3	15,9	0,0	4,1	5,9	2,5	0,9 <sup>a, b</sup>
Tegel	Ny	204	14,7	8,8	1,5	0,5	0,0	2,5	5,9	5,9	0,5 <sup>c</sup>
	Ad	199	32,7	24,6	2,0	6,0	0,0	4,0	14,6	8,0	0,5 <sup>d</sup>
	Ges	403	23,6	16,6	1,7	3,2	0,0	3,2	10,2	6,9	0,5 <sup>c, d</sup>
Wannsee	Ny	199	24,1	20,1	2,5	13,6	5,0	0,0	1,5	4,0	0,5 <sup>e</sup>
	Ad	174	57,5	54,6	0,6	31,6	20,7	0,0	2,3	2,9	1,7 <sup>f, g</sup>
	Ges	373	39,7	36,2	1,6	22,0	12,3	0,0	1,9	3,5	1,1 <sup>e, f, g</sup>

**P\_Lyme-infiziert:** Gesamtprävalenz von *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. valaisiana* (ohne *B. miyamotoi*), **P\_hp:** Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*)

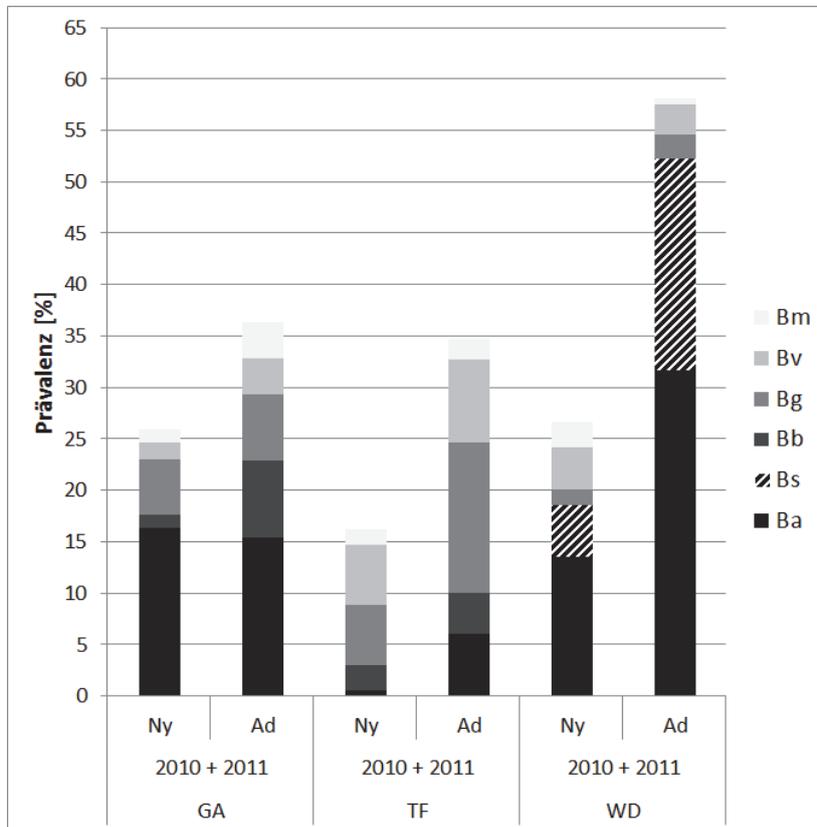
**Bm:** *B. miyamotoi*, **Ba:** *B. afzelii*, **Bs:** *B. spielmanii*, **Bb:** *B. burgdorferi* s.s., **Bg:** *B. garinii*, **Bv:** *B. valaisiana*, **DI:** Doppelinfektionen, **uts:** untersucht, **hp:** humanpathogen, **inf:** infiziert

a) 1x Ba + Bb, b) 3x Bm + Ba, c) 1x Bg + Bv, d) 1x Ba + Bg, e) 1x Bv + Bs, f) 1x Bs + Ba, 1x Bv + Bg, g) 1x Ba + Bs

### 3.7.3 Genospeziesverteilung

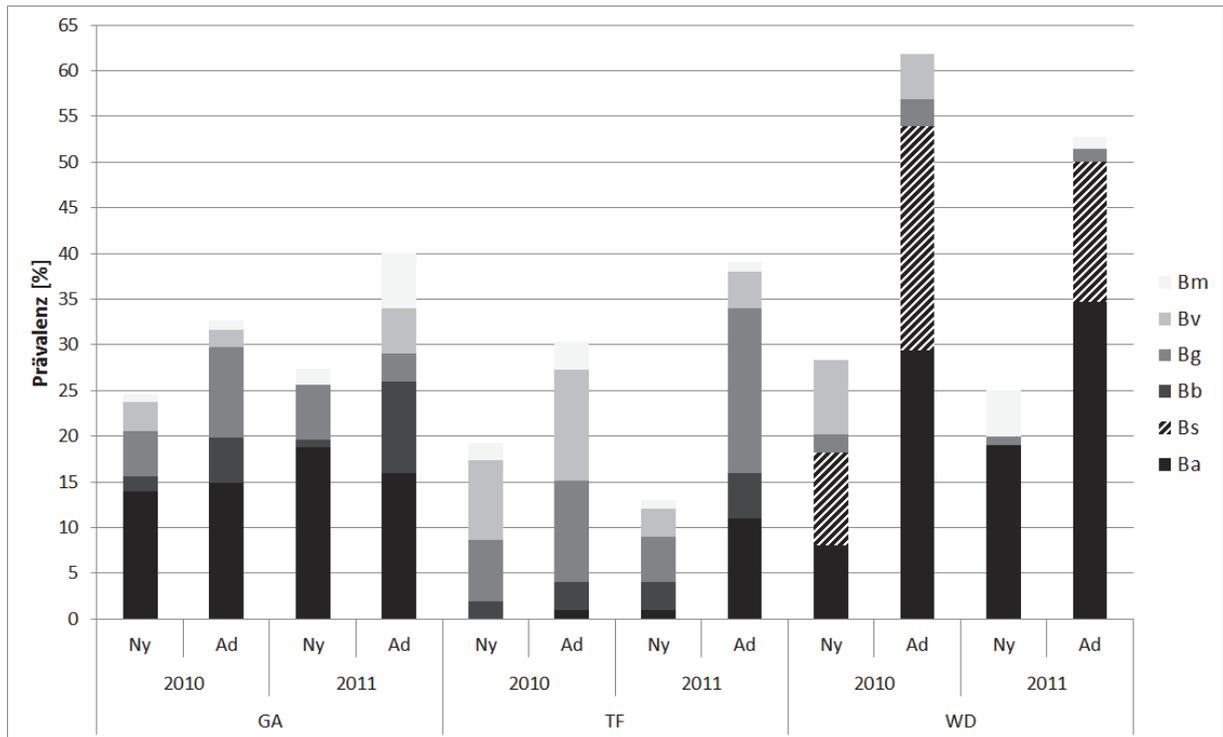
Für den Vergleich der Prävalenz einzelner Genospezies im Standort (Gatow, Tegel, Wannsee) und je Jahr (2010, 2011) bzw. beider Jahre (2010+2011) wurden jeweils die einzelnen Genospezies (*B. afzelii*, *B. garinii*, *B. valaisiana*, *B. burgdorferi* s.s., *B. spielmanii*) in Nymphen und Adulten gegen die Summe der restlichen Genospezies ohne *B. miyamotoi* miteinander verglichen (Fisher Exact Test und Holm-Korrektur). Zusätzlich wurde die Verteilung der einzelnen Genospezies zwischen den Standorten geprüft (2.4.8). Jeder Standort zeigte eine für sich typische Genospeziesverteilung (Abbildung 36, Abbildung 37, Tabelle 14, Tabelle 15). Die Zecken in Gatow waren mit den Genospezies *B. afzelii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii* oder *B. valaisiana* infiziert. Dabei dominierte *B. afzelii* mit rund 16% in Nymphen und Adulten ( $p_{Ba-Rest_{Ny}} < 0,001$ ,  $p_{Ba-Rest_{Ad}} < 0,05$ ; Anhang: Tabelle 53). In Tegel dagegen waren im Vergleich zu Gatow und Wannsee deutlich weniger Nymphen und Adulte mit *B. afzelii* infiziert ( $P_{Ba_{Ny}} \approx 0,5\%$ ,  $P_{Ba_{Ad}} \approx 6\%$ ,  $p_{TF-WD/GA_{Ny}} < 0,001$ ;  $p_{TF-WD/GA_{Ad}} < 0,01$ ; Anhang: Tabelle 51, Tabelle 52, Tabelle 54). In Tegel dominierten *B. garinii* und *B. valaisiana* in den Nymphen mit je 6% und *B. garinii* in den Adulten mit 15% ( $p_{Bg-Ba_{Ny}} < 0,05$ ;  $p_{Bv-Ba_{Ny}} < 0,05$ ;  $p_{Bg-Ba_{Ad}} < 0,05$ ). Wannsee ist der einzige Standort, in dem *B. spielmanii* mit rund 5% in den Nymphen und mit rund 21% in den Adulten nachgewiesen wurde ( $p_{WD-GA/TF_{Ny}} < 0,01$ ;  $p_{WD-GA/TF_{Ad}} < 0,001$ ; Anhang: Tabelle 51, Tabelle 52, Tabelle 55). Dagegen fehlte hier *B. burgdorferi* s.s. völlig in beiden Zeckenstadien im Vergleich zu Gatow und Tegel ( $p_{WD-$

$p_{GA/TF\_Ny} < 0,05$ ;  $p_{WD-GA/TF\_Ad} < 0,01$ ). In Wannsee dominierte in den Nymphen *B. afzelii* mit rund 14% ( $p_{Ba-Rest\_Ny} < 0,01$ ) und in den Adulten mit rund 32% ( $p_{Ba-Rest\_Ad} < 0,001$ ). Allen drei Standorten war gemeinsam, dass *B. lusitaniae* weder in Nymphen noch in Adulten nachgewiesen wurde. In Gatow und Wannsee dominierten die mit Nagetieren assoziierten Genospezies, in Tegel dagegen die mit Vögeln assoziierten Lyme-Borrelien.



Genospezies: Ba: *B. afzelii*, Bs: *B. spielmanii*, Bb: *B. burgdorferi* s.s., Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bm: *B. miyamotoi*; Ny: Nymphen, Ad: Adulte, GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee

**Abbildung 36: Genospeziesverteilung in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 gemeinsam betrachtet**



Genospezies: Ba: *B. afzelii*, Bs: *B. spielmanii*, Bb: *B. burgdorferi* s.s., Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bm: *B. miyamotoi*; Ny: Nymphen, Ad: Adulte, GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee

Abbildung 37: Genospeziesverteilung in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

Tabelle 15: Borrelien-Prävalenz in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

Standort	Jahr	Stadium	n uts	Bm [%]	P_Lyme-inf [%]	P_hp [%]	uts <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]					
							Ba	Bs	Bb	Bg	Bv	DI
Gatow	2010	Ny	122	0,8	23,8	20,5	13,9	0,0	1,6	4,9	3,3	0,8 <sup>a</sup>
		Ad	101	1,0	31,7	29,7	14,9	0,0	5,0	9,9	2,0	0,0
		Ges	223	0,9	27,4	24,7	14,3	0,0	3,1	7,2	2,7	0,4 <sup>a</sup>
	2011	Ny	117	1,7	25,6	25,6	18,8	0,0	0,9	6,0	0,0	0,0
		Ad	100	6,0	34,0	29,0	16,0	0,0	10,0	3,0	5,0	3,0 <sup>b</sup>
		Ges	217	3,7	29,5	27,2	17,5	0,0	5,1	4,6	2,3	1,4 <sup>b</sup>
Tegel	2010	Ny	104	1,9	17,3	8,7	0,0	0,0	1,9	6,7	8,7	1,0 <sup>c</sup>
		Ad	99	3,0	27,3	15,2	1,0	0,0	3,0	11,1	12,1	0,0
		Ges	203	2,5	22,2	11,8	0,5	0,0	2,5	8,9	10,3	0,5 <sup>c</sup>
	2011	Ny	100	1,0	12,0	9,0	1,0	0,0	3,0	5,0	3,0	0,0
		Ad	100	1,0	38,0	34,0	11,0	0,0	5,0	18,0	4,0	1,0 <sup>d</sup>
		Ges	200	1,0	25,0	21,5	6,0	0,0	4,0	11,5	3,5	0,5 <sup>d</sup>
Wannsee	2010	Ny	99	0,0	28,3	20,2	8,1	10,1	0,0	2,0	8,1	1,0 <sup>e</sup>
		Ad	102	0,0	61,8	56,9	29,4	24,5	0,0	2,9	4,9	2,0 <sup>f</sup>
		Ges	201	0,0	45,3	38,8	18,9	17,4	0,0	2,5	6,5	1,5 <sup>e, f</sup>
	2011	Ny	100	5,0	20,0	20,0	19,0	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0
		Ad	72	1,4	51,4	51,4	34,7	15,3	0,0	1,4	0,0	1,4 <sup>g</sup>
		Ges	172	3,5	33,1	33,1	25,6	6,4	0,0	1,2	0,0	0,6 <sup>g</sup>

**P\_Lyme-infiziert:** Gesamtprävalenz von *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. valaisiana* (ohne *B. miyamotoi*), **P\_hp:** Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*)

*Bm:* *B. miyamotoi*, *Ba:* *B. afzelii*, *Bs:* *B. spielmanii*, *Bb:* *B. burgdorferi* s.s., *Bg:* *B. garinii*, *Bv:* *B. valaisiana*, *DI:* Doppelinfektionen, *uts:* untersucht, *inf:* infiziert

a) 1x *Ba* + *Bb*, b) 3x *Bm* + *Ba*, c) 1x *Bg* + *Bv*, d) 1x *Ba* + *Bg*, e) 1x *Bv* + *Bs*, f) 1x *Bs* + *Ba*, 1x *Bv* + *Bg*, g) 1x *Ba* + *Bs*

### 3.7.4 Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (P<sub>hp</sub>)

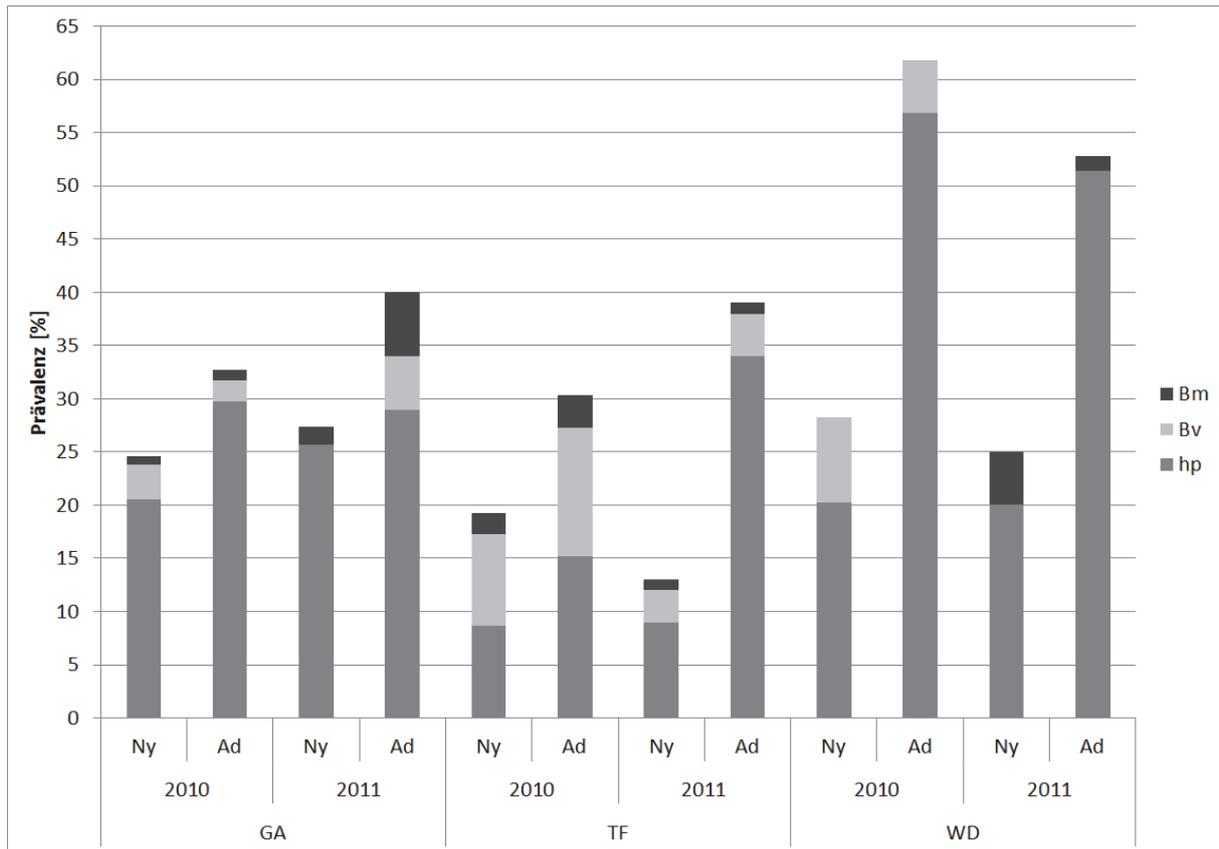
Um die Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien (P<sub>hp</sub>) in Nymphen und Adulten der Standorte Gatow, Tegel und Wannsee in den Jahren 2010 und 2011 zu bestimmen, wurden von der jeweiligen Gesamtprävalenz die Einzelprävalenzen von *B. valaisiana* und *B. miyamotoi* abgezogen (2.4.7.4). In beiden Jahren waren in Gatow und Wannsee die meisten Nymphen mit humanpathogenen Lyme-Borrelien infiziert (P<sub>hp\_GA</sub> ≈ 23%, P<sub>hp\_WD</sub> ≈ 20%),

während in Tegel nur 9% infiziert waren (p<sub>hp\_GA-TF</sub> < 0,001; p<sub>hp\_WD-TF</sub> < 0,01; **Fehler!**

**Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Tabelle 14, Anhang: Tabelle 49).

Betrachtet man beide Jahre getrennt, waren die Nymphen in Gatow (P<sub>hp\_2010</sub> ≈ 20%, P<sub>hp\_2011</sub> ≈ 26%) ebenfalls deutlich stärker mit humanpathogenen Lyme-Borrelien infiziert als in Tegel

( $P_{hp\_2010/2011} \approx 9\%$ ;  $p_{hp\_GA-TF: 2010} < 0,05$ ;  $p_{hp\_GA-TF: 2011} < 0,001$ ; Abbildung 37, Abbildung 38, Tabelle 15, Anhang: Tabelle 49). Die Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien in adulten Zecken war für beide Jahre in Wannsee mit Abstand am höchsten ( $P_{hp\_WD} \approx 55\%$ ), gefolgt von Gatow ( $P_{hp\_GA} \approx 29\%$ ) und Tegel ( $P_{hp\_TF} \approx 25\%$ ,  $p_{hp\_WD-GA/TF} < 0,001$ ). Auffällig war eine insgesamt sehr niedrige Infektionsrate der Adulten in 2010 in Tegel ( $P_{hp\_2010} \approx 15\%$ ), die deutlich unter der von Gatow und Wannsee lag ( $p_{hp\_TF-GA} < 0,05$ ;  $p_{hp\_TF-WD} < 0,001$ ). In 2011 dagegen gab es mehr als eine Verdopplung in der Prävalenz in Tegel auf 34%, sie war damit vergleichbar mit der in Gatow ( $P_{hp\_GA} \approx 29\%$ ). Im Vergleich der Prävalenz  $_{hp}$  in Nymphen und Adulten innerhalb eines Standortes zwischen Teilgebieten konnten keine signifikanten Unterschiede in den Stadien und Jahren festgestellt werden (2.4.7.5, Fisher-Exact-Test:  $p = ns$ , Anhang Tabelle 50). Die Prävalenzen  $_{hp}$  in den Nymphen waren zwischen Wannsee und Gatow vergleichbar, Tegel hatte dabei die deutlich niedrigsten Infektionsraten in beiden Jahren; bei der Prävalenz in adulten Zecken gab es größere Unterschiede, dabei waren in Wannsee die meisten adulten Zecken infiziert.



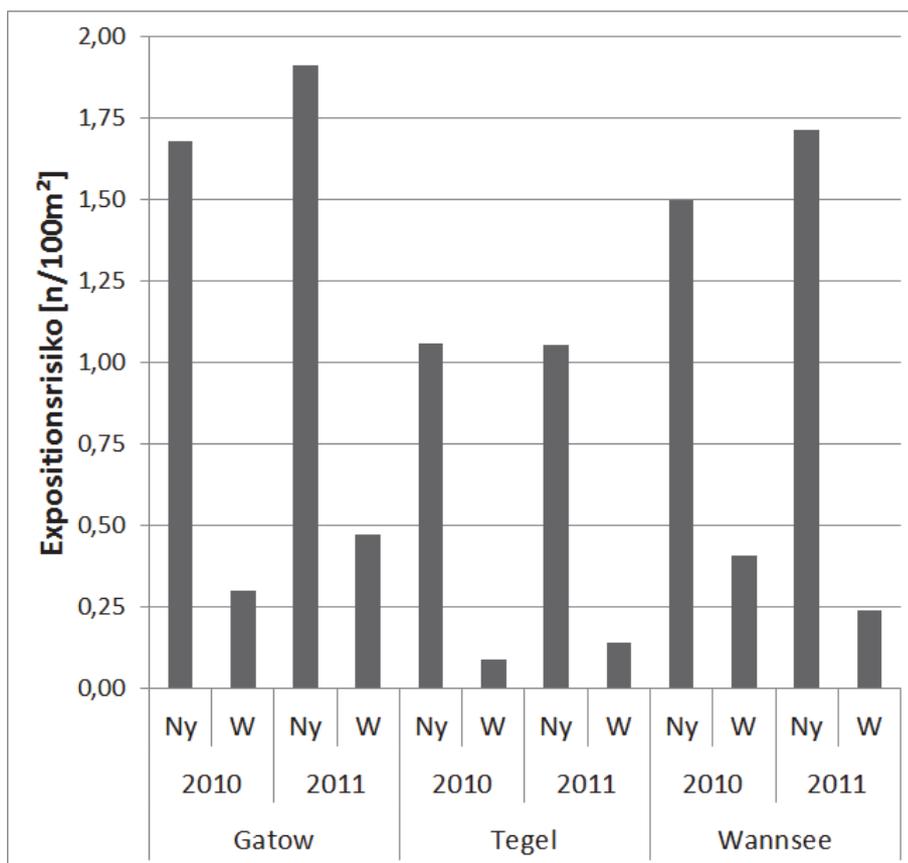
*Bm* = *B. miyamotoi*, *Bv* = *B. valaisiana*, *hp* = humanpathogen (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*), *Ny*: Nymphen, *Ad*: Adulte, *GA*: Gatow, *TF*: Tegel, *WD*: Wannsee

Abbildung 38: Prävalenz  $_{hp}$  in wirtssuchenden Nymphen und Adulten aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

### 3.8 Theoretisches Expositionsrisiko

Das theoretische Expositionsrisiko wurde als Produkt aus Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien $_{hp}$  (Nymphen, Adulte) und normierter Dichte (Nymphen, Weibchen) berechnet, bezogen auf hundert Quadratmeter für jeden Standort (Gatow, Wannsee, Tegel), jedes Jahr (2010, 2011) und jedes Stadium (2.4.9). Da angenommen wird, dass infizierte Nymphen, Weibchen und Männchen innerhalb eines Standortes bzw. zwischen Nano- und Mikro- & Makro-Bereich vergleichbar verteilt waren (siehe Abschnitte 3.7.1, 3.7.2, 3.7.4), wurden sowohl Dichten als auch Prävalenzen für die Gesamtfläche des Standortes also Nano-, Mikro- und Makro-Bereich genutzt. Bei Betrachtung der gesamten Saison zeigte Gatow für beide Jahre das größte theoretische Expositionsrisiko von 1,7 infizierten Nymphen auf 100m<sup>2</sup> ( $Ny_i / 100m^2$ ) in 2010 und 1,9  $Ny_i / 100m^2$  in 2011 (Abbildung 39, Tabelle 16). In Wannsee war das Risiko, einer infizierten Nymphe zu begegnen, in beiden Jahren etwas geringer mit 1,5  $Ny_i / 100m^2$  in 2010 und 1,7  $Ny_i / 100m^2$  2011. Tegel hatte mit 1,1  $Ny_i / 100m^2$  in beiden Jahren das geringste theoretische Expositionsrisiko. Das gleiche Muster wiederholte sich für die Adulten: Das größte Risiko, einem infizierten Weibchen zu begegnen, bestand in Gatow,

gefolgt von Wannsee und Tegel. Um einem infizierten Weibchen zu begegnen, hätte man in Gatow über die Saison durchschnittlich 333 m<sup>2</sup> in 2010 und rund 200 m<sup>2</sup> in 2011 laufen müssen. In Wannsee wären es in 2010 rund 250 m<sup>2</sup> gewesen und in 2011 rund 500 m<sup>2</sup>, um ein infiziertes Weibchen abzustreifen. Am Standort Tegel zeigt sich deutlich, welche Rolle beide Faktoren, nämlich Prävalenz und Dichte, spielen. In Tegel waren im Vergleich zum Vorjahr mehr als doppelt so viele Adulte infiziert ( $P_{hp\_2010} \approx 15\%$ ,  $P_{hp\_2011} \approx 34\%$ ; Tabelle 16), jedoch fast 30% weniger Weibchen aktiv auf Wirtssuche (2010: 0,6 W/ 100 m<sup>2</sup>, 2011: 0,4 W/100 m<sup>2</sup>). Dadurch ergab sich für beide Jahre ein vergleichbares theoretisches Expositionsrisiko mit rund 0,1 W<sub>I</sub> /100m<sup>2</sup>. Prinzipiell war das theoretische Expositionsrisiko durch infizierte Weibchen an allen Standorten deutlich niedriger als durch Nymphen. Das größte theoretische Expositionsrisiko war durch die Nymphen gegeben. Dabei zeichnete sich Gatow als der Standort mit dem insgesamt höchsten Expositionsrisiko für Nymphen und Weibchen aus; auf 250 m<sup>2</sup> würde man durchschnittlich 4-5 infizierten Nymphen und einem infizierten Weibchen begegnen.



Ny: Nymphen, W: Weibchen

Abbildung 39: Theoretisches Expositionsrisiko pro 100m<sup>2</sup> für wirtssuchende Nymphen und Weibchen aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

**Tabelle 16: Prävalenz<sub>hp</sub>, Dichte pro 100 m<sup>2</sup>, theoretisches Expositionsrisiko pro 100 m<sup>2</sup> für wirtssuchende Nymphen und Weibchen aller Standorte, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet**

Standort	Jahr	Stadium	Prävalenz <sub>hp</sub> [%]	Dichte [100 m <sup>2</sup> ]	E <sub>t</sub>
<b>Gatow</b>	2010	Ny	20,5	8,19	1,7
		W	29,7	1,00	0,3
	2011	Ny	25,6	7,46	1,9
		W	29,0	1,63	0,5
<b>Tegel</b>	2010	Ny	8,7	12,15	1,1
		W	15,2	0,58	0,1
	2011	Ny	9,0	11,70	1,1
		W	34,0	0,41	0,1
<b>Wannsee</b>	2010	Ny	20,2	7,40	1,5
		W	56,9	0,72	0,4
	2011	Ny	20,0	8,55	1,7
		W	51,4	0,47	0,2

Ny: Nymphen, W: Weibchen, Prävalenz<sub>hp</sub>: Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (B. afzelii, B. spielmanii, B. burgdorferi s.s., B. garinii), Dichte: normierte Dichte für Nymphen bzw. Weibchen auf 100 m<sup>2</sup>, E<sub>t</sub>: theoretisches Expositionsrisiko

## **4 Teil IV Diskussion**

### **4.1 Sammelmethode – Flaggen**

Die Wahl der Sammelmethode ist abhängig vom Untersuchungsziel. In dieser Untersuchung ging es darum, vergleichsweise große Zahlen von Zecken zu sammeln, um ihre Aktivitäten saisonal und räumlich zu vergleichen. Daher wurden die Zecken mit der Flaggmethode in einem Rhythmus von zwei Wochen gesammelt (Vassallo et al. 2000; Dobson et al. 2011; Tack et al. 2011). Mit dieser Methode lassen sich effektiv und ökonomisch große Zahlen von Zecken sammeln. Jedoch erfasst man mit der Flagge-Methode ausschließlich Zecken, die in den oberen Bereichen der Vegetation auf Wirtssuche sind, was grundsätzlich auf das Aktivitätsverhalten von *I. ricinus* zutrifft (Gray 1985; Ginsberg und Ewing 1989a, 1989b). Es ist damit nicht auszuschließen, dass trotzdem nur ein Teil der wirtssuchenden Gesamtpopulation erfasst wurde, da die Zecken regelmäßig wieder in niedrigere Abschnitte der Vegetation zurückkehren, um ihren Wasserhaushalt zu regulieren (Needham und Teel 1991; Perret et al. 2000; Schulze et al. 2001). Statistisch betrachtet ist dies ein Artefakt, welches den gesamten Untersuchungszeitraum betrifft und damit zu vernachlässigen ist. Ein weiteres potenzielles Mess-Problem ist das „Abschleifen“ der Zecken vom Tuch während des Flaggens. Um dieses zu verhindern, wurde die Flagge stets nach maximal 20 Schritten sorgfältig auf Zecken geprüft. Da die Zecken nur von einer Person, nach immer demselben Muster und ähnlicher Tageszeit geflaggt wurden, sind damit die potenziellen systematischen Fehler reduziert. Die Wahl des Zwei-Wochen-Rhythmus diente dazu, die Population der wirtssuchenden Zecken nicht künstlich zu reduzieren, wie bei wirtssuchenden *I. pacificus* Nymphen in den USA untersucht (Tälleklint-Eisen und Lane 2000). Mit dieser Flaggmethode und dem gewählten Zwei-Wochen-Rhythmus wurde eine dem Untersuchungsziel angemessene Methodik gewählt.

### **4.2 Zeckenaktivität**

Die folgenden Annahmen und Schlussfolgerungen in diesem Abschnitt sind auf die drei Untersuchungsgebiete Gatow, Tegel und Wannsee beschränkt und können damit nicht allgemeingültig sein. Der Bezug zur Vegetation und zum Klima basiert nicht auf statistisch abgesicherten Daten und sollte entsprechend betrachtet werden.

#### **4.2.1 Standort- und Jahresvergleiche**

Sowohl das Gesamt-Verhältnis von Nymphen zu Adulten (4,5:1) als auch das von Männchen zu Weibchen (1,2:1) über alle Standorte und Jahre entsprach dem, was biologisch zu erwarten war (5:1) und war damit vergleichbar mit den Verhältnisangaben aus anderen Untersuchungen in England (Dobson et al. 2011). Vergleicht man jedoch die Aktivität

zwischen den Standorten von 2010 bis 2012, waren in Tegel deutlich mehr Nymphen aktiv als in Gatow und umgekehrt für die Adulten. Demnach könnte man Tegel als von Nymphen dominierten und Gatow als von Adulten dominierten Standort bezeichnen. Diese auffälligen Aktivitätsunterschiede könnten durch die gewählte Flaggtechnik in Kombination mit der Vegetationshöhe artifiziell bedingt sein. Die Vegetation in Gatow war vergleichsweise hoch. Da Nymphen sensitiver auf Trockenheit reagieren als Adulte, ziehen sie sich, um ihren Wasserhaushalt zu regulieren, eher wieder in niedrigere Vegetationsschichten zurück (Needham und Teel 1991; Perret et al. 2000; Schulze et al. 2001). Dass es sich nicht um einen Sammelartefakt handeln kann, belegt die kleinskalige Untersuchung im Nanobereich: Die meisten wirtssuchenden Nymphen waren in Tegel<sub>N</sub> und die meisten Adulten in Gatow<sub>N</sub> auf Wirtssuche. Im Gegensatz zu den unterschiedlichen Vegetationsstrukturen der Mikro- und Makrotransekte zwischen den Standorten waren im Nano-Bereich sowohl die Ausrichtung der Transekte (Himmelsrichtung), als auch die Vegetationshöhe für Tegel und Gatow vergleichbar. Es gab also ähnliche Bedingungen bezogen auf die Flagg-Technik. Insofern ist es ebenfalls denkbar, dass die Vegetationshöhe in dieser Untersuchung keinen verzerrenden Einfluss auf die gemessenen Zeckenaktivitäten hatte. Dieser Eindruck wird bei Betrachtung der Nano-Transekte weiterhin dadurch untermauert, dass auch hier im Vergleich der Zeckenaktivität zwischen den Jahren, die Aktivität der Nymphen in Gatow und die der Adulten in Tegel am wenigsten variierte. Auch bei dieser Betrachtung spiegeln die Nano-Bereiche im Kleinen das wieder, was im Großen für die Mikro- & Makro-Bereiche beschrieben wurde.

Betrachtet man weiterhin die Abundanzen innerhalb eines Standortes je Jahr, kann dieses Muster auch nicht mit einem systematischen Messfehler über die Vegetationshöhe erklärt werden. Denn die Vegetationshöhe der Standorte ist saisonal und in den drei Jahren jeweils vergleichbar geblieben. In dem Vergleich dreier verschiedener Flaggmethoden von Dobson et al. (2011) wird gezeigt, dass die Methode mit einer Fahne gleichermaßen die saisonalen Aktivitätsmuster abbildet, wie die anderen getesteten Methoden. Was ebenfalls gegen einen systematischen Messfehler über die Vegetationshöhe spricht, ist, dass der in 2012 beobachtete starke Rückgang der Aktivität der Nymphen in Wannsee und Tegel in Gatow nicht zu verzeichnen war, obwohl die Vegetation in Gatow auch in diesem Jahr vergleichsweise hoch war. Es kann also zusammengefasst werden, dass sich die Verhältnisse von Nymphen zu Adulten standortspezifisch und sich wiederholend vom Kleinen ins Große unterscheiden können. Man kann also von Tegel als nymphen-dominierten Standort sprechen und von Gatow als adulten-dominierten.

Einen Hinweis, womit die hohe Aktivität der Nymphen in Tegel zusammenhängen könnte, bietet der Blick auf die Genospeziesverteilung in Tegel. In den wirtssuchenden Nymphen wurden mit *B. garinii* und *B. valaisiana* überwiegend vogelassoziierte Genospezies detektiert. Selbst der Anteil von *B. burgdorferi* s.s., welche auch von Vögeln perpetuiert werden kann, war im Vergleich zu den anderen Standorten in Tegel am höchsten. Diese Zusammensetzung spricht dafür, dass der Standort stark von Vögeln frequentiert wird. Neben Nagetieren sind auch Vögel als Wirte von Zeckenlarven beschrieben (Humair et al. 1993b; Olsén et al. 1995; Hubálek et al. 1996; Kurtenbach et al. 1998). Es ist denkbar, dass die Vögel zusätzliche Nymphen in das System der bereits etablierten Zeckenpopulation vor Ort einbringen, möglicherweise über Larven, die an den Vögeln gesogen haben und sich anschließend zu Nymphen weiterentwickeln. Für Tegel ist also ein Import von vollgesogenen Larven über Vögel ein wahrscheinliches Szenario.

## **4.2.2 Saisonale Zeckenaktivität**

### **4.2.2.1 Sinn des relativen Anteils als zusätzliche Betrachtungsmöglichkeit**

Die Abundanz beschreibt die absolute Zahl an Zecken bezogen auf eine Flächen-, Strecken- oder Zeiteinheit. Die Abundanz ist damit eine absolute Größe und kann nur bedingt die Aktivität von wirtssuchenden Zecken beschreiben, sei ihre Anwendung nun bezogen auf eine zeitliche oder räumliche Betrachtung. Was bei der Betrachtungsweise über die Dichte fehlt, ist die Relation der wirtssuchenden Zecken zueinander innerhalb der gemessenen Gesamtpopulation. Ohne diese Relation ist es schwierig, voneinander räumlich oder zeitlich unabhängige Populationen miteinander zu vergleichen. Durch die Anwendung der relativen Anteile als Teilwerte eines Ganzen, nämlich der Gesamtpopulation eines Jahres lässt sich die Aktivität der Zecken unabhängig von ihrer tatsächlichen Anzahl betrachten. Zum einen lassen sich die Zecken hinsichtlich ihrer saisonalen Aktivität betrachten und damit auch Jahre untereinander vergleichen, zum anderen lassen sich die Aktivitäten der Zecken zwischen verschiedenen Transekten innerhalb eines Jahres und zwischen den Jahren vergleichen. Ein weiterer Vorteil liegt in der deutlich besseren Übersicht für den Betrachter. Die Darstellung von absoluten Zahlen oder von Zeckendichten über Boxplots ist zwar korrekt, visualisiert das Ergebnis jedoch nicht aussagekräftig. Für alle relativen Betrachtungen gilt, dass die absoluten Zahlen, respektive die Dichten, als  $n$  angegeben werden müssen. Die Betrachtung der relativen Anteile über die Saison ermöglicht einen Blick auf die Zeckenaktivität unabhängig von der Zecken-Population selbst, es ist also keine zwingende Bedingung von einer „konstanten“ Population auszugehen. Selbst mit niedrigen Zeckenzahlen pro Saison ist es mit dieser Betrachtung also möglich, Aussagen über die relative Aktivität von wirtssuchenden Zecken zu treffen.

#### **4.2.2.2 Mehr als eine Zecken-Population pro Jahr?**

Es gibt Thesen, in denen zwei separate Kohorten von Zecken – mit und ohne Austausch – pro Jahr angenommen werden, um das allgemeine bimodale Aktivitätsmuster über die Saison zu erklären (Lees und Milne 1951; Gray 1982, 1985, 1991). Es stellt sich deshalb die Frage, ob es zulässig ist, relative Anteile über eine gesamte Saison zu berechnen. Selbst wenn man von zwei getrennten Populationskohorten ausgehen würde – einer Frühjahrs- und einer Herbstkohorte, – wäre eine Berechnung der relativen Anteile über die gesamte Saison als zusätzliche Betrachtungsmöglichkeit dennoch valide. Denn in dieser Untersuchung liegt das Augenmerk auf der Zeckenaktivität immer im Hinblick auf das Expositionsrisiko für den Menschen. Hier interessiert es, *wann* wirtssuchende Zecken aktiv sind, nicht zu welcher möglichen Population sie zuzuordnen sind. Geht man zusätzlich von den Schlüssen aus, die Randolph et al. (2002) aus ihrer Untersuchung zu saisonalen Populationsdynamiken bei *I. ricinus* gezogen haben, dann ist es nicht notwendig, zwei Populationskohorten zu definieren. Nach ihren Untersuchungen ist der Lebenszyklus von *I. ricinus* vergleichsweise simpel: Eine einzige Jahreskohorte eines jeden Stadiums startet im Herbst. Entweder werden die Zecken schon im Herbst aktiv und saugen im Frühherbst oder erst zum nächsten Frühling. Diejenigen Zecken, die schon im Herbst saugen, gehen in die Diapause und entwickeln sich zum Folgeherbst zum nächsten Stadium. Diejenigen Zecken, die im Frühjahr/Sommer saugen, entwickeln sich direkt und schlüpfen im Herbst. Insofern ist die Betrachtung der saisonalen Aktivität von Zecken über ihre relativen Anteile sowohl aus mathematischer, als auch aus biologischer Sicht angemessen.

#### **4.2.2.3 Klassischer bimodaler Verlauf**

Der „klassische“ bimodale Verlauf in der jährlichen Aktivität wirtssuchender Zecken, wie ursprünglich beschrieben (Belozarov 1982; Gray 1985, 1991; Mejlou und Jaenson 1993), scheint nicht generalisierbar. Die mit der Flaggmethode gemessenen Abundanzen von *I. ricinus* können immer nur die wirtssuchenden Zecken der Gesamtpopulation zu einem bestimmten Zeitpunkt abbilden. Mit dieser Methode werden weniger als zehn Prozent der absoluten, sich im biologischen System befindlichen Zeckenpopulation erfasst (Randolph 2004). Die Zahl der erfassten Zecken hängt von dem Zufluss an Zecken (Schlupfrate, Aktivitätsrate) in das System und ihrem Abfluss daraus (Absterben, Wirtsassoziation) ab. Dabei werden Zufluss und Abfluss von biotischen (Vegetation, Wirtstiere) und abiotischen Faktoren (Temperatur, Sättigungsdefizit, Tageslichtlänge) bestimmt. Am Beispiel der Wirtsassoziation zeigt das: Je größer die Abundanz der Wirtstiere, umso größer die Wahrscheinlichkeit für die Zecken einen Wirt zu finden, und umso geringer wird die messbare Abundanz der freien wirtssuchenden Zecken (Randolph et al. 2002; Randolph 2004). Das von Randolph 2004 beschriebene Populationsmodell hilft sowohl bei der

Betrachtung der saisonalen Zeckenaktivitäten als auch bei den räumlichen Vergleichen der Aktivität. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Zeckenaktivität über die Saison jahres- und standortabhängig variieren kann. Ein bimodaler Aktivitätsverlauf war für Nymphen und Adulte lediglich in einem von drei Jahren (2010) für Gatow und Wannsee erkennbar. Die meisten wirtssuchenden Nymphen und Adulten waren von März/April bis Juni/Juli zu flaggen. Dies spiegelt sich ebenfalls in anderen Untersuchungen in Europa wieder (Schweiz, England, Süddeutschland), in denen für Nymphen und Adulte überwiegend unimodale Aktivitätsmuster beschrieben wurden, mit der größten Zeckenaktivität von März bis Juni (Perret et al. 2000; Burri et al. 2011; Dobson et al. 2011; Schulz et al. 2014).

Auch zwischen den Jahren gab es deutliche Unterschiede in der Aktivität wirtssuchender Zecken, insbesondere im Jahr 2012 waren deutlich weniger Zecken aktiv. Wie in dieser Untersuchung gab es ebenfalls in den Untersuchungen in England und der Schweiz große Aktivitätsunterschiede zwischen den Jahren. Beispielsweise wurden in England im Mai 2009 fast doppelt so viele Nymphen wie im Vorjahr im Mai 2008 geflaggt (Dobson et al. 2011); in einem Schweizer Untersuchungsgebiet gab es im Frühjahr 2006 sogar mehr als viermal so viele wirtssuchende Nymphen wie in 2007 und 2008 (Burri et al. 2011).

Gerade am Standort Wannsee zeigen sich die Unregelmäßigkeiten in der Zeckenaktivität am deutlichsten. Die Aktivitätskurven waren immer wieder durch Einbrüche über die Saison gekennzeichnet. Diese Aktivitäts-„Einbrüche“ können mit verschiedenen Faktoren zusammenhängen, wie anthropogenem Einfluss, Wirtstieraktivität, Klima bzw. Vegetation.

**1. Anthropogener Einfluss:** Bei dem Untersuchungsgebiet in Wannsee handelte es sich um einen Garten, der regelmäßig von seinem Besitzer gepflegt wurde. Beispielsweise wurde der Garten im Schnitt alle zwei bis drei Wochen nach Bedarf gemäht. Im Sommer wurde bei großer Trockenheit gesprengt. Die Gartenarbeit kann zu einem mechanischen Entfernen bzw. Umverteilen der Zecken durch Mähen oder ähnliches geführt haben. Dabei könnten Zecken auch durch den Besitzer während der Gartenarbeit unbeabsichtigt weggesammelt worden sein. Eine Umverteilung über die Mahd-Abfälle auf den Komposthaufen, bei dem hohe Zeckenaktivitäten zu verzeichnen waren, ist ebenfalls denkbar.

**2. Wirtstieraktivität:** Bei allen Betrachtungen kann auch eine hohe Wirtstieraktivität dazu geführt haben, dass weniger wirtssuchende Zecken zu flaggen waren. Je mehr Wirtstiere aktiv sind, desto mehr Zecken sind nicht mehr im wirtssuchenden Pool (Randolph 2004). Möglicherweise waren im Jahr 2012 mehr Wirtstiere aktiv als in den zwei Jahren zuvor.

**3. Klima/Vegetation:** Gerade das Jahr 2012 war über die Sommermonate durch viele und starke Regenschauer geprägt.<sup>3</sup> In diesem Jahr war es eine Herausforderung, zu vergleichsweise trockenen Bedingungen zu flaggen. Es ist gut denkbar, dass die Zecken aufgrund der starken Regenfälle mechanisch in niedrigere Abschnitte der Vegetation weggespült wurden und damit nur schwer zu flaggen waren. Auch das Sprengen am Standort Wannsee kann einen ähnlichen Effekt gehabt haben. Der Gartenbesitzer hat jedoch immer einen Tag vor dem Flaggen nicht mehr gesprengt.

In Gatow startete die Zeckenaktivität im Vergleich zu den anderen Standorten schon früher im März und fiel früher ab. Hier waren die meisten Zecken von April bis Juni auf Wirtssuche. Gatow war durch einen Laub-Kiefernmischwald und vergleichsweise viel Unterholz gekennzeichnet. Einen früheren Aktivitätsstart für *I. ricinus* haben auch Dobson et al. 2011 für Waldgebiete mit Unterholz beobachtet, im Gegensatz zu nahe gelegenen Arealen mit kurzem Gras oder Heide. Möglicherweise bietet hier eine ideale Kombination aus viel Lichteinfall (noch nicht belaubte Bäume) bei gleichzeitigem Schutz vor Austrocknung durch das Unterholz gute Startbedingungen für die Zeckenpopulation im Frühjahr. Der anthropogene Einfluss in Gatow war am geringsten. Interessanterweise ähnelte sich hier die saisonale Zeckenaktivität für beide Stadien und in allen drei Jahren am stärksten. Im Gegensatz dazu war in Wannsee der anthropogene Einfluss am größten. Hier war auch die Zeckenaktivität sehr unregelmäßig, und die Stadien zeigten in ihrer Aktivität große saisonale Unterschiede. Es wäre interessant zu untersuchen, ob ein starker anthropogener Einfluss bei großen Unregelmäßigkeiten in den Zeckenaktivitäten tatsächlich eine Rolle spielen könnte.

#### **4.2.3 Räumliche Betrachtung der Zeckenverteilung**

An allen drei Standorten bestanden deutliche Unterschiede in der Zeckenaktivität zwischen bestimmten Transekten. Dadurch war ein klarer Zusammenhang zwischen Habitat- bzw. Vegetationsstruktur und Zeckenhäufigkeit erkennbar. In Gatow ließen sich vor allem auf freien Flächen wenige Zecken flaggen, die von hoher Vegetation und/oder einem großen Distel-Anteil, mit eher trockenem, sandigem Untergrund und teilweise viel Sonneneinstrahlung geprägt waren. Diese Beobachtung ist vergleichbar mit der von Dobson et al. (2011), wo am wenigsten Zecken auf Arealen mit hohem Gras und Rehwild geflaggt wurden. In Gatow wurde ebenfalls sowohl Rehwild als auch seine Kotpillen auf der Waldschneise gesichtet. Die geringen Zeckenzahlen könnten damit einerseits auf die Wirtstieraktivität zurückzuführen sein, denn Rehe sind gute Wirte für Nymphen und entnehmen diese damit aus der zu flaggenden Population an wirtssuchenden Nymphen, andererseits sind die mikroklimatischen Bedingungen auf diesen Transekten wegen der

---

<sup>3</sup> Aufgrund des hohen methodischen Aufwands, wurde in dieser Studie der Bezug zu meteorologischen Phänomenen statistisch nicht untersucht.

Sonneneinstrahlung möglicherweise weniger optimal gewesen. Das Sättigungsdefizit nimmt bei steigender Vegetationshöhe zu, und damit wird der Stress für *I. ricinus* erhöht. Um Schutz vor Dehydrierung zu suchen, ziehen sie sich in niedrigere Vegetationsschichten zurück (Needham und Teel 1991; Perret et al. 2000; Jensen und Kaufmann 2003).

Auch in Tegel war die Zeckenverteilung von Habitatstrukturen abhängig. Die meisten wirtssuchenden Nymphen und Adulte waren auf Transekten unterhalb einer Böschung, die wenigsten oberhalb einer Böschung aktiv. Dabei waren unterhalb und oberhalb der Böschung die strukturellen Bedingungen vergleichbar. Es gab nur wenig bis kein Unterholz, und der sandige Wald-Boden war mit Laub bedeckt. Vermutlich war am Fuße der Böschung das Sättigungsdefizit am niedrigsten, da das Wasser nach Regenfällen natürlicherweise hinabfließt, und der Boden hier dadurch insgesamt feuchter gewesen sein kann, als auf den oberen Teilen der Böschung. Wenige Zecken wurden auch in der Untersuchung von Schulz et al. (2014) in Gebieten mit wenig oder keinem Laub und geringer monotoner Bodenvegetation gesammelt. Dies zeigt, dass Vegetation die optimalen mikroklimatischen Bedingungen für Zecken unterstützen kann (Needham und Teel 1991; Perret et al. 2000). Es macht aber auch deutlich, dass selbst bei mangelnder Vegetation viele Zecken dort vorkommen könnten, wo eine ausreichend hohe Bodenfeuchte gegeben ist.

Eine Besonderheit am Standort Tegel war der große Unterschied in den Zeckenaktivitäten zwischen dem Gelände des Wirtschaftshofes und dem Waldgebiet. Im Schnitt waren ca. 70% der Nymphen und 80% der Adulten auf dem Wirtschaftshof zu flaggen. Dieser Bereich war stark anthropogen beeinflusst, wie auch der Garten in Wannsee. Die Vegetation war auf dem Hof diverser und krautiger (Wiese, Strauchwerk, Bäume) als im Wald (Buchen, kaum Unterholz). Im Buchenwald führt die Stratifizierung in der Vertikalen möglicherweise zu weniger Sonneneinfall in den niedrigeren Regionen und damit zu weniger Buschwerk. Dies könnte umgekehrt im Frühling, wenn das Blattwerk der Bäume noch nicht voll entwickelt ist, zu einem vergleichsweise starken Sonneneinfall und damit zu einer Erhöhung des Sättigungsdefizits in der Laubschicht führen. Ein solcher Prozess könnte bewirken, dass mehr wirtssuchende Nymphen im Frühjahr absterben, als in Gebieten mit ausgeprägtem Unterholz und wäre eine mögliche Erklärung für die nicht proportionale Anzahl an adulten Zecken am Standort Tegel im Verhältnis zu den Nymphen.

Im Wannseer Garten waren die wenigsten wirtssuchenden Zecken am Übergangsbereich zur Wiese aktiv. Hier zeigt sich, wie auch bei Dobson et al. (2011), dass Bereiche mit kurzem Gras, selbst wenn sie an Baumgruppen angrenzen, weniger günstig zu sein scheinen. Im Gegensatz dazu kommt die Untersuchung von Tack et al. (2011) zu einem anderen Schluss. Dort beherbergten Transekte auf Waldwegen mit kurzem Gras von 30-50 cm die meisten

wirtssuchenden Zecken im Vergleich zu den anderen drei untersuchten Vegetationstypen (Farn, Blaubeere, Pfeiffengras). Dieses Ergebnis ist jedoch nicht übertragbar auf die hier vorgestellte Untersuchung, da sich dort die miteinander verglichenen Vegetationstypen (Gras versus Farn, Blaubeere, Pfeiffengras) stark von der hier beschriebenen Vegetation (Gras versus Laubbäume, Ziersträucher) unterschieden. Hinzu kommt, dass dort alle Untersuchungsgebiete in Nadelwäldern lagen, die bodenbedingt schlechtere Bedingungen für Zecken bieten und möglicherweise deshalb dort die Zecken eher auf Waldwegen mit Gras aktiver waren. Hier und in der Studie von Dobson et al. (2011) lagen jedoch die Untersuchungsgebiete in Laub- und Laubmischwäldern, welche prinzipiell bessere Bedingungen für *I. ricinus* bieten (Olson und Patz 2011). Besonders interessant in diesem Garten waren die ungewöhnlich großen Holzaufschüttungen, gerade um die größten ließen sich konstant über alle drei Jahre viele Nymphen flaggen. Was vermuten lässt, dass gute Larvenwirte, wie beispielweise Nagetiere, dort entsprechende Nist- und Schutzmöglichkeiten vorgefunden haben könnten. Am Standort Wannsee lässt sich gut erkennen, wie sehr sich Zeckenaktivitäten bei klar abgegrenzten Habitatsstrukturen auf kleinem Raum unterscheiden können.

Zusammengefasst zeigt sich, dass Übergangsbereiche abhängig von ihrer strukturellen Zusammensetzung - also welche Vegetations-Bereiche ineinander übergehen, mehr oder weniger Zecken führen können. Dabei war eine gewisse Streckentreue der Nymphen zu beobachten und eine gewisse Streckenvariabilität der Adulten. Möglicherweise sind Nymphen wegen ihrer geringeren Kapazität in der Regulierung des Wasserhaushaltes im Vergleich zu Adulten weniger variabel in ihrer Habitatwahl.

#### **4.2.3.1 Darstellung über die relativen Anteile und den Standort-Quotienten ( $Q_x$ )**

Die Anzahl der Strecken und die Streckenlänge variierten zwischen den Standorten und im Standort. Dies hatte natürlich zur Folge, dass sich die relativen Anteile zwangsläufig unterschieden. Je mehr Transekte es pro Standort gab, desto geringer fielen die relativen Anteile je Transekt aus. Beispielsweise gab es in Wannsee nur elf Transekte – und damit die größten Ausschläge – und für Gatow mit 35 Transekten die geringsten. Bei zukünftigen Untersuchungen zur räumlichen Verteilung von Zecken an unterschiedlichen Standorten sollte daher, soweit es bei den gegebenen Habitatsstrukturen machbar ist, auf eine annähernd ähnliche Streckenanzahl und Streckenlänge geachtet werden. Dies macht die Auswertungen nicht nur besser vergleichbar, sondern auch erheblich einfacher. Da dies aufgrund der sehr unterschiedlichen Habitatsbedingungen in dieser Untersuchung nicht der Fall war, wurde eine zusätzliche Betrachtungsmethode über den beschriebenen Standort-Quotienten ( $Q_x$ ) entwickelt. Mit Hilfe dieses Standort-Quotienten ( $Q_x$ ) konnten nun Aussagen hinsichtlich der räumlichen Zeckenaktivität über die Unterschiedlichkeit der

Standorte zueinander getroffen werden. Sprich – in welchem Standort waren die Unterschiede in den Zeckenabundanz zwischen den Transekten am größten? Um die Antwort darauf nicht nur in Zahlen auszudrücken, sondern auch zu visualisieren, wurden die Daten zusätzlich mit Hilfe von Boxplots dargestellt, in denen die Mittelwerte aller Sammelereignisse je Transekt und Standort über drei Jahre aufgetragen wurden. Im Vergleich aller drei Standorte waren die Zecken in Wannsee am wenigsten gleichmäßig verteilt, dort war auch der größte anthropogene Einfluss zu verzeichnen. Bestimmte Transekte in diesem Garten wirkten wie ein künstlich angelegtes Ökoton. Die Kombination beider Darstellungen – rechnerisch und grafisch – ist nicht nur anschaulicher, sie bot gleichzeitig eine Überprüfungsfunktion der neuen Herangehensweise. Da in dieser Arbeit nur drei Untersuchungsgebiete mit diesem Verfahren verglichen wurden, sollte in Folgeuntersuchungen geprüft werden, ob es generell anwendbar ist. Diese Methode zum Vergleich der räumlichen Standort-Heterogenität in der Zeckenaktivität kann es ermöglichen, Untersuchungsgebiete, die keine annähernd ähnliche Streckenanzahl und Streckenlänge besitzen, valide miteinander zu vergleichen, und könnte somit bei entsprechendem Studiendesign in Folgeuntersuchungen genutzt werden.

#### **4.2.4 Nano SaTScan™-Analyse**

Mit Hilfe der Clusteranalyse mit SaTScan™ konnte die räumliche Verteilung der Zecken je Quadrant kleinskalig untersucht werden. In bisherigen Untersuchungen wurde zwar auf die zufällige Verteilung von *I. ricinus* hingewiesen, jedoch nicht auf kleinem Raum standardisiert untersucht (Vassallo et al. 2000). Aufgrund der geringen Zeckenzahlen und der Linearität der Untersuchungsabschnitte hat die Clusteranalyse mit SaTScan™ hier einen begrenzten Mehrwert gebracht. Um die Clusteranalyse mit SaTScan™ voll ausschöpfen zu können, ist eine Anpassung des Untersuchungsdesigns sinnvoll. Da dieses Programm eine Analyse in der Fläche möglich macht, wäre es sinnvoll, größere Areale nach dem Quadranten-Prinzip zu beflaggen. So ließe sich beispielsweise eine Fläche bestehend aus mehreren aneinander grenzenden, parallel verlaufenden Transekten mit sinnvollem Bezug zu den natürlichen Vegetationsstrukturen beproben und per SaTScan™ analysieren. Die hier gewählte Struktur – von einfachen Bahnen mit je einem Quadratmeter Breite – reduziert die potenzielle Aussagekraft dieser Untersuchungs-Methode. Für Tegel konnte keine klare Aussage zur räumlichen Aktivität der Adulten getroffen werden. Jedoch wurde über die drei Jahre gezeigt, dass konstant wenige Adulte zu flaggen waren. Um zukünftig einer zu geringen Zeckenzahl vorzubeugen, wären kürzere Beprobungs-Intervalle – z.B. wöchentlich – denkbar. Um ein „Leersammeln“ solcher dann intensiv beflaggten Areale zu vermeiden, könnten die geflaggten Zecken wieder zurückgesetzt werden. Eine zusätzliche Erweiterung dieses kleinräumigen Untersuchungsansatzes könnte über eine Messung der Vegetationshöhe und

Bestimmung der Vegetation stattfinden. So ließen sich die möglichen Cluster hoher oder niedriger Zeckenaktivität in Bezug zu bestimmten Vegetationsstrukturen setzen (Dobson et al. 2011). Bisher wurde die hier beschriebene Clusteranalyse auf kleinem Raum nur für *Dermacentor variabilis* in den USA genutzt, jedoch waren dort die Untersuchungstransecte mit 1,5 km deutlich länger als die in dieser Arbeit. Dort konnten ausgeprägte Cluster für *D. variabilis* gefunden werden. Möglicherweise ist die Tendenz zum Clustern bei *I. ricinus* im Vergleich zu *D. variabilis* geringer ausgeprägt und könnte zusätzlich die schwachen Ausprägungen in den Ergebnissen erklären. Trotz der genannten Limitierungen konnte mit der Clusteranalyse mit SaTScan™ auf kleinem Raum gezeigt werden, dass Nymphen und Adulte unterschiedliche Transecte zu bevorzugen scheinen und nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern sich in ihrem Vorkommen häufen.

### 4.3 Prävalenz – Genospezies – Expositionsrisiko

#### 4.3.1 Gesamtprävalenz (P) und Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (P<sub>hp</sub>)

Bei der Bestimmung saisonaler Prävalenzen in wirtssuchenden Zecken in den USA wurden im Frühjahr höhere Prävalenzen von *B. burgdorferi* s.s. in *Ixodes scapularis* (ehemals *I. dammini*) ermittelt als im Herbst. Möglicherweise unterscheiden sich die Prävalenzen für *B. burgdorferi* s.l. in *I. ricinus* ebenfalls saisonal in Europa (Piesman et al. 1987). Unter Umständen verhält es sich in Europa sogar umgekehrt, in einer Studie in Hannover wurden deutlich höhere Infektionsraten mit *B. burgdorferi* s.l. in Nymphen und Adulten im Herbst nachgewiesen (Tappe et al. 2014). Es stellt sich die Frage, inwieweit bisherige Prävalenzuntersuchungen überhaupt miteinander vergleichbar sein können, wenn sich die Infektionsraten in *I. ricinus* saisonal unterscheiden können. Daher erscheint es sinnvoll, für zukünftige Studien anzugeben aus welchen Monaten die untersuchten Zecken stammen. In dieser Untersuchung wurde darauf geachtet, Zecken aus einem Querschnitt über die gesamte Saison und alle Transecte für die Prävalenzbestimmung zu wählen. Insofern lässt sich davon ausgehen, dass die hier bestimmten Prävalenzen weder artifiziell erniedrigt noch erhöht sind. Die Infektionsraten zwischen adulten Männchen und Weibchen unterschieden sich nicht, wie ebenfalls in der Metaanalyse von Rauter und Hartung (2005) beschrieben. Dies lässt auf eine gleichverteilte bzw. gleichrangige transstadiale Weitergabe der Spirochäten vom Nymphen- zum Adultenstadium schließen. Die höchsten Prävalenzen von Borrelien (P und P<sub>hp</sub>) in Nymphen und Adulten fanden sich am Standort Wannsee. Sie lagen weit über dem von Rauter und Hartung (2005) ermittelten europäischen Durchschnitt der höchsten Infektionsraten. Der Garten in Wannsee scheint mit seiner Strukturierung gute Bedingungen für kompetente Wirte, Zecken und damit der Perpetuierung von Borrelien zu bieten. Prinzipiell wird auch in anderen Untersuchungen beschrieben, dass sich Prävalenzen

standortspezifisch unterscheiden können (Richter et al. 1999; Richter et al. 2004b; Richter und Matuschka 2011; Richter et al. 2013). Insofern können solche Prävalenzberechnungen wie in der Metaanalyse höchstens als Übersicht dienen und einen groben Referenzrahmen bieten. Die aufgeführten Parameter, wie Zecken-Dichte oder Borrelien-Prävalenz für sich genommen, haben wenig Aussagekraft für eine Risikoeinschätzung. Für die Betrachtung und Beschreibung von biologischen Aspekten im Erregerzyklus ist die Bestimmung der Prävalenzen in Kombination mit der Zusammensetzung der verschiedenen Genospezies ein geeignetes Mittel. Für den Aspekt der Prävention im Kontext von Public Health ist die Kombination aus der Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) und Zeckendichten ein valides Mittel (Randolph 2004).

#### **4.3.2 Genospezies**

Allen drei Standorten war gemeinsam, dass *B. lusitaniae* weder in Nymphen noch in Adulten nachgewiesen wurde. Diese Genospezies tritt nur fokal auf und wird durch Eidechsen perpetuiert (Richter und Matuschka 2006b). In Gatow und Wannsee dominierten die mit Nagetieren assoziierten Genospezies, in Tegel dagegen die mit Vögeln assoziierten Lyme-Borrelien. Die Infektionsraten von *B. garinii*, *B. valaisiana* und *B. burgdorferi* s.s. in Nymphen und Adulten in Tegel und der Mangel an *B. afzelii* sprechen primär dafür, dass besonders viele Larven und Nymphen an Vögeln Blut gesogen haben, die reservoir-kompetent für diese Genospezies sind. Untersuchungen, die an einem Vogel dominierten Standort durchgeführt wurden, kamen zu erstaunlich vergleichbaren Ergebnissen hinsichtlich der Genospezies-Zusammensetzung (Kurtenbach et al. 1998). Auch dort wurden in den wirtssuchenden *I. ricinus* *B. garinii*, *B. valaisiana* und in geringem Maße *B. burgdorferi* s.s. nachgewiesen. In den ebenfalls untersuchten Nymphen, die an Fasanen Blut gesogen hatten, wurden *B. garinii* und *B. valaisiana* detektiert. Nach diesen Ergebnissen zu urteilen, können die Genospezies-Prävalenzen der Zecken vogeldominierter Standorte von den sonst üblichen Genospeziesverteilungen deutlich abweichen (Rauter und Hartung 2005; Rizzoli et al. 2011).

Die Perpetuierung von Nagetier-assoziierten Genospezies war in Tegel reduziert.

Möglicherweise saugten insgesamt weniger subadulte Stadien an Nagetieren, wodurch die Wahrscheinlichkeit niedriger war, Nagetier-assoziierte Spirochäten von infizierten Nagetieren aufzunehmen, und/oder wenige Nagetiere waren infiziert. Der hohe Anteil vogel-assoziiertes Genospezies ist deswegen überraschend, da der Standort Tegel über seinen Buchenwald charakterisiert ist und mit den Bucheckern eine Nahrungsquelle für verschiedene Tierarten bietet (Hilton und Packham 2003). Bucheckern sind nicht nur eine Nahrung für Vögel und große Säugetiere, wie Wildschweine, sondern auch für Nagetiere – insbesondere

Rötelmäuse. Einem Mastjahr<sup>4</sup> folgt erfahrungsgemäß ein Anstieg in der Population von Rötelmäusen und anderen Nagetieren (Jensen 1982; Pucek et al. 1993; Verhagen et al. 2000; Crespin et al. 2002; Tersago et al. 2009), insofern könnte man bei diesem Standort von einer etablierten Rötelmaus Population ausgehen und eine Nagetier-assoziierte Genospeziesverteilung in den Zecken erwarten. Leider liegen jedoch keine Daten zu der Nagetierpopulation am Standort Tegel vor. Hinzu kommt, dass Larven eher an Nagetieren saugen und Nymphen eher an Vögeln (Kurtenbach et al. 1998; Matuschka et al. 1992). Wenn man aufgrund der Dominanz von Vogel-assoziierten Genospezies in den Zecken in Tegel einen hohen Anteil von gesogenen Larven über Vögel annimmt, dann müsste der Anteil von gesogenen Nymphen über Vögel noch deutlich größer sein, da Vögel die besseren Nymphen-Wirte sind. Daraus resultierend müsste die Zahl der Adulten proportional zu den Nymphen erhöht sein, allerdings waren vergleichsweise wenige Adulte in Tegel zu flaggen. Das lässt vermuten, dass wirtssuchende Nymphen dem System in Tegel entzogen wurden, möglicherweise durch Vögel. Die Bucheckern sind unter anderem auch eine Nahrungsquelle für Vögel. Kleine Vögel wie der Bergfink können über weite Strecken fliegen, wenn sie im Winter migrieren und auf Nahrungssuche sind. Sie können in Mastjahren in extrem hohen Zahlen in Deutschland auftreten (Jenni 1987). Diese Nahrungsquelle unterscheidet Tegel von den anderen beiden Standorten und könnte den hohen Anteil an vogelassoziierten Genospezies in den wirtssuchenden *I. ricinus* erklären. Es wäre interessant zu untersuchen, ob diese Assoziation auch bei anderen Buchenwäldern besteht und ein generelles Muster in Buchenwäldern darstellt. Außerdem könnten in Buchenwäldern Untersuchungen vor und nach Mastjahren durchgeführt werden, um zu prüfen, wie schnell sich die Genospezies-Zusammensetzung nach einer möglichen massenhaften Vermehrung der Rötelmaus verändert oder ob es ein hohes Vogelaufkommen gibt und damit Verschiebungen in der Genospezies-Zusammensetzung. Daraus könnten Schlüsse im Hinblick auf die Stabilität eines Habitats und seiner möglichen Genospezies-Konstanz bzw. – Variabilität in den wirtssuchenden Zecken gezogen werden.

Am Standort Gatow schien die Genospeziesverteilung in den wirtssuchenden Zecken eher dem Durchschnitt zu entsprechen. Hier wurden, wie auch in der Metaanalyse von Rauter und Hartung (2005) beschrieben, vorwiegend *B. afzelii* und *B. garinii* in den wirtssuchenden Zecken detektiert. In Wannsee dagegen wurde *B. spielmanii* in den Zecken nachgewiesen. Möglicherweise ist dies auf die Strukturierung des Gartens zurückzuführen. Dort gab es große Holzaufschüttungen, die seit Jahren Bestand haben und immer wieder erweitert werden. Solche Holzaufschüttungen bieten ideale Bedingungen für Nagetiere. Es ist eher unwahrscheinlich, dass *B. spielmanii* an diesem Standort durch Gartenschläfer oder

---

<sup>4</sup> Mastjahr: Jahr maximaler Samenproduktion bei Baumarten mit unregelmäßiger Fruchtbildung

Haselmäuse perpetuiert wurde, deren Verbreitungsgebiete sich nicht nach Berlin-Brandenburg ausdehnen. Jedoch ist es gut denkbar, dass Wanderratten diese Genospezies im Garten aufrechterhalten, da diese Tiere in Laborversuchen reservoirkompetent sind (Richter et al. 2011). Die Wanderratte gehört zu den peridomestischen Nagetieren und könnte ausgezeichnete Nistbedingungen in den großen Holzhauschüttungen finden. Die beschriebene Genospeziesverteilung in den wirtssuchenden Zecken aller drei Standorte unterschied sich signifikant und scheint damit spezifisch für das jeweilige Untersuchungsgebiet.

#### 4.3.3 Theoretisches Expositionsrisiko ( $E_t$ )

Das hier berechnete theoretische Expositionsrisiko ( $E_t$ ) gibt an, wie vielen infizierten Nymphen oder adulten Weibchen man auf 100 m<sup>2</sup> theoretisch begegnen konnte (Richter und Matuschka 2011). Als mögliche alternative Betrachtungsweise für die Risikoberechnung gibt es noch  $P_e$ , die Wahrscheinlichkeit von mindestens einer infizierten Zecke gestochen zu werden (Ginsberg 1993). Damit wird jedoch ein Übertragungsrisiko bzw. Infektionsrisiko berechnet. Die dafür zugrunde liegende Berechnung und ihre Anwendung beziehen sich auf Wirtstiere mit hohen Infestationsraten. Diese Betrachtung ist sinnvoll für Nagetiere und andere Wirtstiere, die von vielen Zecken infestiert werden, jedoch nicht für den Menschen. Für die Risikobestimmung für den Menschen ist es also sinnvoller, mit Hilfe von  $E_t$  zu ermitteln, wie vielen infizierten Zecken er begegnen kann, unabhängig davon ob er von ihnen gestochen wird oder nicht. Es gilt zu bedenken, dass das hier errechnete theoretische Expositionsrisiko künstlich erniedrigt sein kann, da die Werte über das ganze Jahr berechnet wurden und die Gesamtjahresdichten niedriger sind, als die Dichten in der Hauptaktivitätszeit der Zecken im Frühjahr (Dobson et al. 2011). Um Zahlen für ein saisonales theoretisches Expositionsrisiko zu erhalten, welches auf die Hauptaktivitätszeit von *I. ricinus* fokussiert, müssten nicht nur die Dichten aus der Hauptaktivitätszeit berechnet werden, sondern ebenso gezielt die Prävalenzen humanpathogener Borrelien von Zecken aus der betreffenden Saison untersucht werden. Ziel dieser Studie war es, einen Überblick über die Gesamtsituation zu bekommen. Dafür wurden die Prävalenzen stichprobenartig über die gesamte Saison bestimmt. Aufgrund von saisonalen Prävalenzbestimmungen aus den USA und Deutschland ist es sehr wahrscheinlich, dass sich Prävalenzen und Genospeziesstruktur innerhalb der wirtssuchenden *I. ricinus* auch in Europa saisonal unterscheiden könnten (Piesman et al. 1987; Tappe et al. 2014). Für zukünftige Studien wäre es also interessant – im Hinblick auf ein saisonales theoretisches Expositionsrisiko – Genospeziesbestimmungen mit ausreichend großem Stichprobenumfang über die Saison durchzuführen.

Das in dieser Arbeit ermittelte theoretische Expositionsrisiko zeigt deutlich, wie wichtig die Verknüpfung von Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) und Zeckendichten getrennt für jedes der beiden Stadien ist. Würde man beispielsweise nur die Nymphendichten betrachten, dann wäre ein Spaziergang im Tegeler Wald am risikoreichsten. Würde man nur nach den Infektionsraten mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) gehen, dann wäre die Gartenarbeit im Wannseer Garten am gefährlichsten. Verknüpft man jedoch beide Parameter im theoretischen Expositionsrisiko, dann ist ein Spaziergang im Waldgebiet der General-Steinhoff-Kaserne in Gatow am kritischsten. Das theoretische Expositionsrisiko ist damit ein gutes Werkzeug, um die praktische und tatsächliche Relevanz für den Menschen im Hinblick auf Prävention zu ermitteln.

#### **4.3.3.1 Expositionsrisiko und Inzidenzen**

Seit der Einführung der Meldepflicht für definierte klinische Ausprägungen der Lyme-Borreliose gibt es nun Inzidenzen für Berlin und Brandenburg (Robert Koch-Institut (RKI) 2009). Die Meldedaten, wie sie bisher erhoben werden, können allerdings nur als Orientierungshilfe genutzt werden und müssen durch weitere Studien ergänzt werden. Obwohl Zahlen zu den Inzidenzen in Berlin für 2010 und 2011 vorliegen, können die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchung nicht sinnvoll mit den Meldezahlen miteinander ins Verhältnis gesetzt werden. Betrachtet man das ermittelte theoretische Expositionsrisiko aller drei Standorte für 2010 und 2011, wird deutlich, wie stark sich das daraus resultierende Infektionsrisiko des Menschen standortabhängig und damit lokal unterscheiden kann. Das Infektionsrisiko wird nicht nur kleinräumig von verschiedenen Faktoren beeinflusst, wie der Zeckenabundanz, Wirtstieren und der Genospeziesverteilung, sondern auch von dem Verhalten des Menschen (Freizeitverhalten, Präventionsmaßnahmen). Die Erhebung der Human-Inzidenzen ist sinnvoll, um grobe Schwankungen wie Zu- oder Abnahmen in den Erkrankungsraten des Menschen erkennen zu können. Aufgrund der Meldedatenstruktur ist kein räumlicher Bezug zum Ort möglich, an dem die infizierte Zecke aufgenommen und der Mensch infiziert wurde, da der Wohnort und nicht der Expositionsort des Patienten gemeldet wird (Landesamt für Gesundheit und Soziales 2011; Wilking und Stark 2014). Für ein grundlegendes Verständnis des Zusammenspiels zwischen Vektor, Wirt, Habitat und Mensch und seinem Verhalten sind aufeinander abgestimmte Studien notwendig. Für eine langfristige Vergleichbarkeit der Untersuchungen ist es zwingend notwendig, Basisparameter zum Vergleich zu definieren und standardisiert anzuwenden.

## 4.4 Präventionsstrategien

Prävention ist über mindestens fünf Ebenen möglich. Sie könnte unter anderem abzielen auf den Erreger, Vektor, Wirte, Habitat oder den Menschen durch,

1. Impfung,
2. Reduktion von Zecken und/oder Wirtstieren,
3. Landschaftsplanung,
4. Risikokarten,
5. Informationskampagnen.

Im Folgenden werden mögliche Präventionsstrategien kurz erörtert.

### 4.4.1 Impfung

Ein Baustein von Prävention kann Impfung sein. 1998 wurde ein Impfstoff gegen die Lyme-Krankheit von GlaxoSmithKline eingeführt und war zu ca. 80% wirksam. Wegen diverser Gründe wurde der Impfstoff 2002 wieder vom Markt genommen. Alternativ gibt es in den USA Überlegungen Impfstoffe für Weißfußmäuse, *Peromyscus leucopus* – dem primären Reservoirwirt – zu entwickeln, um darüber die Prävalenzen in den Zecken zu reduzieren (Ostfeld 2011). Selbst in den USA wird dieser Ansatz kontrovers diskutiert (Wormser 2011). Aufgrund der deutlich komplexeren Wirtstier- und Genospezies-Interaktionen in Europa ist die Übertragbarkeit dieses Ansatzes auf unsere Breiten jedoch äußerst fraglich. Da Impfung derzeit keine Option ist, weder bei Mensch noch bei wildlebenden Wirtstieren, müssen Präventionsstrategien anders angegangen werden. Eine alternative Überlegung aus den USA zielt ab auf die Reduktion des Zeckenkontaktes mit dem Menschen.

### 4.4.2 Zeckenreduktion – Wirtstierreduktion

Zeckenreduktion ist auf verschiedenen Wegen denkbar: Einerseits könnte die Anzahl der Zecken durch den Einsatz von Akariziden in der Natur, andererseits durch Veränderungen im Habitat bzw. in der Wirtstierpopulation reduziert werden (Wormser 2011). Der Einsatz von Akariziden ist nicht nur teuer, aufwendig, schwer kontrollierbar und umweltschädlich, sondern führt in der Regel zu Resistenzen, was langfristig immer auch dem Menschen schadet (Mather et al. 1987; La Fuente et al. 2007). Bezogen auf die Wirtstiere gab es in den USA seit der Entdeckung der Lyme-Borreliose in den Siebziger Jahren, Versuche die Minimierung der Zeckenpopulation (*I. scapularis*) über eine Reduktion der Weißwedelhirsch-Population zu erreichen. Die Ergebnisse sind ausgesprochen heterogen und werden ebenfalls kontrovers diskutiert (Ostfeld 2011). Auch diese Überlegungen sind aufgrund der diversen und komplexen Zecken-Wirt Beziehung in unseren Breiten nicht auf Deutschland übertragbar.

#### **4.4.3 Landschaftsplanung: Überlegungen für das Anlegen von Gärten und Grünflächen**

Möglicherweise wäre es sinnvoller, Einfluss auf die Landschaftsgestaltung in urbanen und periurbanen Erholungsgebieten zu nehmen, als zu versuchen in den natürlichen Zyklus einzugreifen (Ginsberg 2011). Am Beispiel des Gartens in Wannsee konnte man erkennen, dass zwar ein vergleichsweise hohes theoretisches Expositionsrisiko bestand, sich die wirtssuchenden Nymphen jedoch stark auf bestimmte Transekte konzentrierten. Fast 40% der geflaggtten Zecken befanden sich an einem Ort, nämlich direkt um die großen Holzaufhäufungen, fast keine Zecken waren auf den Wiesen zu flaggen. Hier gilt es zu bedenken, dass ein Entfernen der Laubschicht im Herbst, die in dem Garten immer durchgeführt wurde, ebenfalls zu einer Zeckenreduktion beigetragen haben könnte (Schulze et al. 1995). Bezogen auf eine aktive Landschaftsgestaltung und -pflege würde es bedeuten, Räume mit weiten Flächen für die Besucher zu schaffen. Um jedoch auch anderen Lebewesen natürliche Zufluchtsorte zu bieten und damit die Diversität aufrecht zu erhalten bzw. zu ermöglichen, sollten Räume, die Versteckmöglichkeiten für verschiedenste Wirte bieten können, weiter ab vom Besucherverkehr angelegt werden. Aus Präventionsgründen sollten die beschriebenen Bereiche nicht zu nah beieinander angelegt werden. Denn die kleinräumige Untersuchung zeigt, dass selbst auf engstem Raum große Unterschiede in dem Vorkommen von Zecken und deren Prävalenzen mit humanpathogenen Borrelien auftreten können. Damit hat man jedoch auch eine gute erste Grundlage zur Abschätzung des Risikopotentials. Mit den hier beschriebenen ersten Ergebnissen lassen sich durch Folgestudien in schon bestehenden Garten- oder Parkanlagen prüfen, inwieweit sich die hier beobachteten Muster wiederholen und ob sie standardisiert und sinnvoll übertragbar und umsetzbar wären. Der Vorteil einer solchen Strategie ist, dass beim Anlegen von Grünflächen und Erholungsgebieten für den Menschen beides beachtet werden kann: Der Erholungswert und Schutz für den Menschen sowie die Beibehaltung von Grünflächen, welche die Biodiversität unterstützen. Ein solcher Ansatz muss jedoch Hand in Hand mit entsprechenden Informationskampagnen gehen, denn es kann letztendlich keine risikofreien Habitats geben. Die Herausforderung liegt darin, die ökologischen Beobachtungen in tatsächliche politische Strategien auf lokaler, regionaler und bundesweiter Ebene umzusetzen.

#### **4.4.4 Risikokarten**

Es gibt immer wieder Überlegungen, sogenannte Risikokarten für Zecken und Lyme-Borreliose zu erstellen (Rauter und Hartung 2005). Dieser Ansatz wird jedoch kritisch diskutiert. Ein Faktor ist, dass solche Risikokarten basierend auf einem dynamischen System erstellt werden. Es können Parameter potenziell günstiger Bedingungen, unter denen

Zecken auftreten können, unterschätzt werden. Es besteht dadurch immer die Gefahr, dass Zecken in Gebieten vorkommen, die eigentlich als risikoarm eingestuft wurden (Ostfeld 2011). Des Weiteren könnten Menschen, die sich auf solche Risikokarten verlassen, aufgrund der vermeintlichen Sicherheit weniger aufmerksam sein und wegen der geringen Gefahreinstufung nötige Präventionsmaßnahmen nicht ergreifen. Weder das Meldesystem in Deutschland noch in den USA bietet die Möglichkeit, Inzidenzen regional zum Infektionsort zuzuordnen, da Meldungen nach dem Wohnort und nicht nach dem Infektionsort gemacht werden. Das „Centers for Disease Control and Prevention“ (CDC) weist auf seiner Webseite explizit darauf hin (o.A. 2015a). Insofern können diese Daten nicht für Aussagen zu potenziellen Risikogebieten genutzt werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen deutlich, dass sich nicht nur größere Untersuchungsgebiete bezüglich ihrer Zeckenaktivitäten und Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien unterscheiden können, sondern sich diese Unterschiede sogar auf kleinräumiger Ebene darstellen lassen. Wenn man solche kleinräumigen Unterschiede und auch die beobachteten jahres- und saisonabhängigen Verschiebungen bedenkt, dann kann eine grobgranulare Risiko-Karte nicht dem Anspruch eines Warnsystems gerecht werden.

#### **4.4.5 Informationskampagnen**

Aus der Feldarbeit und der Durchführung von Informationsständen zum Thema *I. ricinus* und Lyme-Borreliose ist auch auf persönlicher Ebene im direkten Austausch mit interessierten Bürgern deutlich geworden, wie wichtig die Verbreitung von Informationen zu dem Thema Prävention ist und mit welchen einfachen Mitteln dies erreicht werden kann. Es gibt diverse Untersuchungen dazu, welche Präventionsmaßnahmen zu einer Reduktion des Expositions- und damit auch des Infektionsrisikos führen können. Unter anderem gehören dazu Maßnahmen im Bereich der Kleidung, der Nutzung von Repellents und dem regelmäßigen Absuchen des Körpers nach Zecken, rechtzeitiges Entfernen von noch suchenden oder schon saugenden Zecken (Des Vignes et al. 2001; Vázquez et al. 2008; Connally et al. 2009; Vaughn und Meshnick 2011; Jordan et al. 2012). Da die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass sich die Zeckenaktivitäten und die Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien kleinräumig stark unterscheiden können, erscheint es umso wichtiger, langfristige Strategien im Bereich von Informationskampagnen zu entwickeln. Diese sollten immer stakeholder-basiert und zielpersonen-gerecht durchgeführt werden. Insbesondere Personen, die in Berufen tätig sind, die ein höheres Expositionsrisiko mit sich bringen, sollten entsprechende Schulungen erhalten.

## 4.5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Zeckenaktivitäten und die Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien kleinräumig stark unterscheiden können. Wie in anderen Studien beschrieben, hängt das dadurch resultierende Expositionsrisiko von diversen Faktoren ab. Es macht daher wenig Sinn, Ressourcen in allgemeine „Zeckenrisiko-Karten“ zu investieren, sie sollten eher gezielt für weitere Untersuchungen zur Entwicklung von Untersuchungsstandards investiert werden, um langfristig eine Vergleichbarkeit der zukünftigen Studien zu ermöglichen. Auch sollte dies im Hinblick darauf geschehen, ob Strategien zur gezielten Landschaftsplanung im Sinne von One-Health realistisch und realisierbar sein können. Vorstellbar ist z.B. die Untersuchung von schon bestehenden Gartenanlagen bezüglich ihrer Genospezieszusammensetzung in Kombination mit dem hier entwickelten Standort-Quotienten ( $Q_x$ ). Dies wäre ein hervorragendes Mittel, um valide zu untersuchen, welche Anlagenformen in der Landschaftsplanung und im Städtebau gezielt eingesetzt werden könnten, um das Expositionsrisiko für den Menschen zu minimieren. Eine solche Strategie entspricht auch der langfristigen, strategischen, politischen Ausrichtung Deutschlands. In Deutschland gibt es mittlerweile eine Reihe von Strukturen und Rahmenbedingungen, die eine Umsetzung des One-Health-Ansatzes ermöglichen sollen. Dieser Ansatz verbindet die Bereiche Tier- und Humanmedizin mit dem Umwelt- und Verbraucherschutz. Er reflektiert die Erkenntnis, dass diese Felder immer stärker miteinander verbunden sind und wirksame Gesundheitspolitik ein ganzheitliches Handeln und Denken erfordert (o.V. 2008). Beispiele für Strukturen zur Umsetzung des One-Health-Konzepts in Deutschland sind unter anderem die Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt (NBS) und die gezielte Förderung von Forschungsverbänden zu zoonotischen Infektionskrankheiten (o.V. 2007; Hausdorf 2008, 2009). Parallel dazu steht die Prävention an vorderster Stelle. Hier sollte eine geplante und gezielte Kommunikationsstrategie zugeschnitten auf die einzelnen Zielgruppen und damit der Schutz des Menschen im Fokus liegen.

## 5 Zusammenfassung

### Häufigkeit von *Ixodes ricinus* Zecken und Prävalenz von humanpathogenen Lyme Borrelien

Zecken sind aufgrund ihrer möglichen Interaktion mit verschiedensten Wirten während ihres Lebenszyklus effektive Überträger diverser Pathogene. Die Zahl der Krankheitserreger, die in Zecken nachgewiesen werden wächst seit den letzten 30 Jahren. Dazu gehören auch die Erreger der Lyme-Krankheit, welche in Europa und Deutschland als die häufigste von zecken-übertragene Infektionserkrankung gilt (tick-borne diseases = TBD). Die Lyme-Borreliose in Europa ist eine durch *I. ricinus* übertragene zoonotische, bakterielle Infektionserkrankung des Menschen durch Spirochäten, die dem *Borrelia burgdorferi* sensu lato (s.l.) Komplex mit sieben verschiedenen Genospezies angehören. Jede der Genospezies ist an bestimmte Wirtstiergruppen als Reservoirwirte angepasst. Es besteht ein komplexes Zusammenspiel aus Zecke, ihren Wirten, dem Pathogen und der Umwelt. Die verschiedenen Stadien von *I. ricinus* (Larve, Nymphe, Adulte mit Männchen/Weibchen) müssen je Stadium für ihre Weiterentwicklung eine Blutmahlzeit zu sich nehmen. Mit dieser Blutmahlzeit können Lyme-Borrelien zwischen Zecke und Wirt ausgetauscht und auch der Mensch infiziert werden. Wird die Lyme-Krankheit des Menschen im frühen Stadium nicht erkannt und therapiert, kann sie chronifizieren. Die Lyme-Borreliose führt gesamtgesellschaftlich betrachtet zu hohen Kosten durch Diagnostik, Therapiemaßnahmen und Arbeitsausfall.

Die vorliegende Dissertation konzentrierte sich auf die Risikobestimmung und damit auch auf den Bereich der Prävention von Lyme-Borreliose, indem sie die Verteilungs- und Aktivitätsmuster von wirtssuchenden Nymphen und Adulten *I. ricinus* an drei periurbanen Berliner Standorten (Gatow, Tegel, Wannsee) über drei Jahre sowohl groß- als auch kleinräumig untersuchte und diese mit der Bestimmung von standortbezogenen Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien und dem daraus resultierenden theoretischen Expositionsrisiko kombinierte. Ziel war es, valide Standards zu entwickeln, die Betrachtung und Vergleich unterschiedlicher Untersuchungsgebiete möglich machen. Dabei sollten bisher genutzte Verfahren mit einem neuen Ansatz ergänzt werden. Zur Umsetzung dieser Ziele bestand der Untersuchungsansatz aus drei Basiskomponenten:

1. Feldarbeit: zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Zecken, wurde zwischen Makro-, Mikro- und Nanotransekten unterschieden, die mit unterschiedlichen Flaggmethoden probiert wurden.

2. Laborarbeit: zur Bestimmung der Prävalenz von Lyme-Borrelien in den gesammelten Zecken und zur Identifizierung der Genospezies
3. Statistik: komplexe statistische Auswertung der erhobenen Daten in R und SaTScan™ mit verschiedenen Betrachtungsweisen getrennt nach Mikro- & Makro- und Nano-Bereichen, die den räumlichen Aspekt der Zecken- und der Genospeziesverteilung untersuchte.

Sowohl das Gesamtverhältnis von Nymphen zu Adulten als auch das von Männchen zu Weibchen über alle Standorte und Jahre entsprach dem, was biologisch zu erwarten war. Vergleicht man jedoch die Aktivität zwischen den Standorten von 2010 bis 2012, stellte sich Tegel als von Nymphen und Gatow als von Adulten dominierter Standort dar. Dieses Aktivitätsmuster wurde auch im Nano-Bereich beobachtet, damit kann neben anderen Faktoren ein Sammelartefakt ausgeschlossen werden.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Aktivität wirtssuchender Zecken über die Saison jahres- und standortabhängig variieren kann. Ein bimodaler Aktivitätsverlauf war für Nymphen und Adulte lediglich in einem von drei Jahren für Gatow und Wannsee erkennbar. Die meisten wirtssuchenden Nymphen und Adulten waren von März/April bis Juni/Juli zu fliegen. In Wannsee war der anthropogene Einfluss am größten und die Zeckenstadien zeigten in ihrer Aktivität große saisonale Unterschiede. An allen drei Standorten war ein klarer Zusammenhang zwischen Habitat- bzw. Vegetationsstruktur und Zeckenaktivität erkennbar. Dabei war eine gewisse Streckentreue der Nymphen zu beobachten und eine gewisse Streckenvariabilität der Adulten. Für den Nano-Bereich konnte mit Hilfe der Clusteranalyse in SaTScan™ die räumliche Verteilung der Zecken je Quadrant kleinskalig untersucht werden. Es wurde hier auf kleinem Raum gezeigt, dass Nymphen und Adulte unterschiedliche Transekte zu bevorzugen scheinen und nicht gleichmäßig verteilt sind, sondern sich in ihrem Vorkommen häufen.

Um zu prüfen, in welchem Standort die Unterschiede in den Zeckenaktivitäten zwischen den Transekten am größten waren, wurden zwei Betrachtungsansätze (mathematisch, grafisch) entwickelt. Von den drei Standorten waren die Zecken im Wannseer Garten am wenigsten gleichmäßig verteilt. Diese Betrachtungsansätze zum Vergleich der räumlichen Standort-Heterogenität in der Zeckenaktivität ermöglichen es, Untersuchungsgebiete, die keine annähernd ähnliche Streckenanzahl und Streckenlänge besitzen, valide miteinander zu vergleichen. Die Übertragbarkeit dieses Verfahrens auf andere Untersuchungsgebiete sollte in Folgeuntersuchungen geprüft werden.

Die höchsten Prävalenzen von Borrelien in Nymphen und Adulten fanden sich am Standort Wannsee, sie lagen weit über dem ermittelten europäischen Durchschnitt. Allen drei Standorten war gemeinsam, dass *B. lusitaniae* weder in Nymphen noch in Adulten nachgewiesen wurde. In Gatow und Wannsee dominierten die mit Nagetieren assoziierten Genospezies, in Tegel dagegen die mit Vögeln assoziierten. In Wannsee wurde außerdem *B. spielmanii* in den Zecken nachgewiesen.

Das theoretische Expositionsrisiko ( $E_t$ ) verknüpft die Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) mit der jeweiligen Zeckendichte und gibt an, wie vielen infizierten Nymphen oder adulten Weibchen man auf einer 100 m<sup>2</sup>-Fläche theoretisch begegnen könnte. Die Ergebnisse dieser Verknüpfung zeigen, wie wichtig das theoretische Expositionsrisiko ( $E_t$ ) ist. Würde man beispielsweise nur die Nymphendichten betrachten, dann wäre ein Spaziergang im Tegeler Wald am risikoreichsten. Würde man sich nur nach den Infektionsraten mit humanpathogenen Lyme-Borrelien richten, wäre der Aufenthalt im Wannseer Garten am gefährlichsten. Verknüpft man jedoch beide Parameter im theoretischen Expositionsrisiko, scheint ein Spaziergang im Waldgebiet in Gatow am kritischsten.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich die Zeckenaktivitäten und die Prävalenzen humanpathogener Lyme-Borrelien kleinräumig stark unterscheiden können und eine Risikoeinschätzung für den Menschen über das theoretische Expositionsrisiko geschehen sollte. Vor diesem Hintergrund erscheinen sogenannte „Zeckenrisiko-Karten“ wenig sinnvoll. Die hier entwickelten methodischen Verfahren können für Folgestudien zur Beschreibung heterogener Untersuchungsstandorte genutzt werden, welche wiederum die Basis für eine gezielte Landschaftsplanung im Sinne von One-Health bieten können.

## 6 Summary

### **Abundance of *Ixodes ricinus* and the prevalence of Lyme disease spirochetes pathogenic to humans**

Ticks are efficient vectors of various pathogens due to their potential interactions with different kinds of hosts during their life cycle. The number of recognized pathogens transmitted by ticks (tick-borne diseases = TBD) has been growing over the past 30 years. This includes the causative agent of Lyme disease (LD), which is the most prevalent TBD in Europe and Germany. In Europe, LD is transmitted by *I. ricinus* ticks. LD is a zoonotic, bacterial infection of humans caused by spirochetes, belonging to the *Borrelia burgdorferi* sensu lato (s.l.) complex. *B. burgdorferi* s.l. includes seven genospecies, each of which is associated with particular vertebrates as reservoir hosts. The interaction of ticks, hosts, pathogens and habitats is complex. Each life stage of *I. ricinus* (larva, nymph, adult as male and female) requires a blood meal from a vertebrate host for its subsequent development. During the blood meal, Lyme borreliae are transmitted between tick and host and vice versa. People usually acquire LD by nymphal or female ticks. If LD escapes early diagnosis, it may become chronic. Due to high costs for diagnostics, therapy and working days lost, LD financially impacts the healthcare system and results in a great economic burden for the society. This study focusses on LD prevention due to risk assessment by examining the distributional patterns and the activity of questing nymphal and adult *I. ricinus* ticks. Over the course of three years, this survey was performed at three peri-urban study sites in Berlin (Gatow, Tegel, Wannsee) at different spatial scales. Additionally, the prevalence of genospecies pathogenic to humans was determined in questing ticks. This prevalence in conjunction with tick densities results in a theoretical exposure risk for people. This study also aimed to develop valid standards for comparing heterogeneous study sites. These aims were addressed by three basic approaches:

1. Field work: Different flagging methods were applied and compared to examine the spatial tick distribution, distinguishing between macro, micro and nano transects.
2. Laboratory work: Prevalence of borreliae in questing ticks were determined and their genospecies identified.
3. Statistics: To investigate the spatial aspects of the distribution of questing ticks and the genospecies of borreliae infecting them, complex statistical analysis was applied to the generated data using R<sup>®</sup> and SaTScan<sup>™</sup>, separately for micro-macro and nano sections.

For each year and study site, both the total ratio of nymphs to adults as well as the ratio of males to females was generally in line with biological expectations. When comparing the tick activity between study sites for 2010-2012 at the micro-macro scale, Tegel appeared to be dominated by nymphs and Gatow by adults. This pattern was also observed at the nano scale. Due to this and other observations, a sampling artefact can be excluded.

The results demonstrate that activity of questing ticks may vary for each year and study site. Only during one year, a bimodal activity pattern was observed for both nymphs and adults at Gatow and Wannsee. On average, questing nymphs and adults were most active from March/April until June/July. The highest anthropogenic impact was at the garden in Wannsee, where the ticks displayed a high variability in their seasonal activity pattern. At all three study sites, activity of questing ticks appeared to be linked to habitat and vegetation structures. Nymphs appeared to be associated with particular transects, whereas adults showed more variability. A cluster analysis performed with SaTScan™ allowed testing the spatial tick distribution at a small scale. At this scale, it became evident that nymphs and adults seemed to prefer different transects and they are not distributed equally but rather tend to cluster.

To test whether the distribution patterns of questing ticks vary in heterogeneity between the study sites, two novel approaches (mathematical, graphical) were developed. Of all three study sites, the distribution of ticks was most heterogeneous at Wannsee. This method allows to compare the heterogeneity of spatial use in and between study sites despite different numbers and lengths of transects.

The highest prevalence of borreliae in questing nymphal and adult ticks was detected at the Wannsee study site, where it exceeded the European average. At all three study sites, neither nymphs nor adults were infected by *B. lusitaniae*. At Gatow and Wannsee, rodent-associated genospecies were predominant in questing ticks, at Tegel bird-associated genospecies. Furthermore, *B. spielmanii* was detected in ticks at Wannsee. A theoretical risk of exposure ( $E_t$ ) was calculated by combining the prevalence of all genospecies pathogenic to humans at site with the local tick density. It estimates the number of infected nymphs or females that may be theoretically encountered on an area of 100 m<sup>2</sup>. The results for  $E_t$  illustrate the importance of this approach. For example, if only the nymph densities were evaluated, a walk through the Tegel forest would constitute a high risk. In contrast, by limiting the estimate to the prevalence of genospecies pathogenic to humans ( $P_{hp}$ ), gardening at the Wannsee site would implicate the highest risk. But by combining both parameters, a walk through the forest at Gatow bears the highest risk of exposure.

These results illustrate that the activity of questing ticks and their prevalence of borreliae pathogenic to humans varies tremendously at a small spatial scale. That in mind, risk maps for borreliae-infected ticks seem of little use. Risk assessment for humans should be based on the theoretical risk of exposure determined locally. The methods developed in this study may be applied in further investigations when evaluating and comparing the heterogeneity of questing ticks and prevalence of the causative agent of LD within or between different study sites. These future investigations may provide a basis for targeted landscaping in the sense of the One Health initiative.

## 7 Literaturverzeichnis

- Åsbrink, E.; Brehmer-Andersson, E.; Hovmark, A. (1986): Acrodermatitis Chronica Atrophicans - A Spirochetosis. Clinical and Histopathological Picture Based on 32 Patients; Course and Relationship to Erythema Chronicum Migrans Afzelius. In: *American Journal of Dermatopathology* 8 (3).
- Bacon, R. M.; Kugeler, K. J.; Mead, P. S. (2008): Surveillance for Lyme disease - United States, 1992-2006. CDC (10). Online verfügbar unter <http://www.cdc.gov/mmwr/preview/mmwrhtml/ss5710a1.htm>.
- Belozеров, V. N. (1982): Diapause and biological rhythms in ticks. In: Pergamon Press (Hg.): *Physiology of ticks*. Oxford, S. 469–500.
- Benoit, J. B.; Yoder, J. A.; Lopez-Martinez, G.; Elnitsky, M. A.; Lee, R.E., Jr; Denlinger, D. L. (2007): Habitat requirements of the seabird tick, *Ixodes uriae* (Acari: Ixodidae), from the Antarctic Peninsula in relation to water balance characteristics of eggs, nonfed and engorged stages. In: *Journal of Comparative Physiology B* 177 (2). DOI: 10.1007/s00360-006-0122-7.
- Boer, R. de; Hovius, K. E.; Nohlmans, M.K.E.; Gray, J. S. (1993): The woodmouse (*Apodemus sylvaticus*) as a reservoir of tick-transmitted spirochetes (*Borrelia burgdorferi*) in the Netherlands. In: *Zentralblatt für Bakteriologie* 279 (3). DOI: 10.1016/S0934-8840(11)80373-7.
- Brown, R. N.; R.S. Lane; D.T. Dennis (2005): Geographic distributions of tick-borne diseases and their vectors. In: J. L. Goodman, D. T. Dennis und D. E. Sonenshine (Hg.): *Tick-borne diseases of humans: American Society of Microbiology*, S. 363–391.
- Burri, C.; Bastic, V.; Maeder, G.; Patalas, E.; Gern, L. (2011): Microclimate and the Zoonotic Cycle of Tick-Borne Encephalitis Virus in Switzerland. In: *Journal of Medical Entomology* 48 (3). DOI: 10.1603/ME10180.
- Cochez, C.; Heyman, P.; Heylen, D.; Fonville, M.; Hengeveld, P.; Takken, W. et al. (2014): The presence of *Borrelia miyamotoi*, a relapsing fever spirochaete, in questing *Ixodes ricinus* in Belgium and in the Netherlands. In: *Zoonoses and public health*. DOI: 10.1111/zph.12154.
- Connally, Neeta P.; Durante, Amanda J.; Yousey-Hindes, Kimberly M.; Meek, James I.; Nelson, Randall S.; Heimer, Robert (2009): Peridomestic Lyme disease prevention. Results of a population-based case-control study. In: *American Journal of Preventive Medicine* 37 (3). DOI: 10.1016/j.amepre.2009.04.026.
- Crespin, L.; Verhagen, R.; Stenseth, N. C.; Yoccoz, N. G.; Prévot-Julliard, A. C.; Lebreton, J. D. (2002): Survival in fluctuating bank vole populations: seasonal and yearly variations. In: *Oikos* 98 (3). DOI: 10.1034/j.1600-0706.2002.980311.x.

- Dennis, D. T.; Piesman, J. F. (2005): Overview of tick-borne infections of humans. In: J. L. Goodman, D. T. Dennis und D. E. Sonenshine (Hg.): Tick-borne diseases of humans: American Society of Microbiology, S. 3–11.
- Des Vignes, F.; Piesman, J.; Heffernan, R.; Schulze, T. L.; Iii, Stafford, K. C.; Fish, D. (2001): Effect of tick removal on transmission of *Borrelia burgdorferi* and *Ehrlichia phagocytophila* by *Ixodes scapularis* nymphs. In: *Journal of Infectious Diseases* 183 (5). DOI: 10.1086/318818.
- Dobson, A. D. M.; Taylor, J. L.; Randolph, S. E. (2011): Tick (*Ixodes ricinus*) abundance and seasonality at recreational sites in the UK: hazards in relation to fine-scale habitat types revealed by complementary sampling methods. In: *Ticks and tick-borne diseases* 2 (2). DOI: 10.1016/j.ttbdis.2011.03.002.
- Duray, P. H.; Steere, A. C. (1988): Clinical pathologic correlations of Lyme disease by stage. In: *Annals of the New York Academy of Sciences* 539 (1). DOI: 10.1111/j.1749-6632.1988.tb31839.x.
- Estrada-Peña, A.; Osácar, J. J.; Pichon, B.; Gray, J. S. (2005): Hosts and pathogen detection for immature stages of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in north-central Spain. *Experimental & Applied Acarology*. In: *Experimental and Applied Acarology* 37 (3-4). DOI: 10.1007/s10493-005-3271-6.
- Fingerle, V.; Schulte-Spechtel, U. C.; Ruzic-Sabljić, E.; Leonhard, S.; Hofmann, H.; Weber, K. et al. (2008): Epidemiological aspects and molecular characterization of *Borrelia burgdorferi* s.l. from southern Germany with special respect to the new species *Borrelia spielmanii* sp. nov. In: *International journal of medical microbiology : IJMM* 298 (3-4). DOI: 10.1016/j.ijmm.2007.05.002.
- Fukunaga, M.; Takahashi, Y.; Tsuruta, Y.; Matsushita, O.; Ralph, D.; McClelland, M.; Nakao, M. (1995): Genetic and phenotypic analysis of *Borrelia miyamotoi* sp. nov., isolated from the ixodid tick *Ixodes persulcatus*, the vector for Lyme disease in Japan. In: *International journal of systematic bacteriology* 45 (4). DOI: 10.1099/00207713-45-4-804.
- Gates, L. D. (2012): MILIEU. Der Mensch im Ballungsraum unter Klima- und Umwelteinflüssen. Hg. v. Institut für Meteorologie FU Berlin. Online verfügbar unter <http://www.milieu.fu-berlin.de/index.html>, zuletzt geprüft am 18.11.2015.
- Gerritzen, A. (2011): Die Lyme Borreliose. Hg. v. Medizinisches Labor Bremen. Bremen. Online verfügbar unter [http://www.mlhb.de/fileadmin/user\\_upload/Fachinfo/Laborinfo/Lyme\\_Borreliose\\_06122011w.pdf](http://www.mlhb.de/fileadmin/user_upload/Fachinfo/Laborinfo/Lyme_Borreliose_06122011w.pdf), zuletzt aktualisiert am 06/2011, zuletzt geprüft am 11.12.2015.

Ginsberg, H. S. (1993): Transmission risk of Lyme disease and implications for tick management. In: *American Journal of Epidemiology* 138 (1). Online verfügbar unter <http://aje.oxfordjournals.org/content/138/1/65.full.pdf>.

Ginsberg, H. S. (2011): Wildlife and domestic hosts: Their important roles in maintaining and amplifying pathogens and their changing dynamics. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 43–49.

Ginsberg, H. S.; Ewing, C. P. (1989a): Comparison of flagging, walking, trapping, and collecting from hosts as sampling methods for northern deer ticks, *Ixodes dammini*, and lone-star ticks, *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). *Experimental & Applied Acarology*. In: *Experimental and Applied Acarology* 7 (4). DOI: 10.1007/BF01197925.

Ginsberg, H. S.; Ewing, C. P. (1989b): Habitat distribution of *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae) and Lyme disease spirochetes on Fire Island, New York. In: *Journal of Medical Entomology* 26 (3). DOI: 10.1093/jmedent/26.3.183.

Goethert, H. K.; Telford, S. R. (2009): Nonrandom distribution of vector ticks (*Dermacentor variabilis*) infected by *Francisella tularensis*. In: *PLoS pathogens* 5 (2). DOI: 10.1371/journal.ppat.1000319.

Goodman, J. L.; Dennis, D. T.; Sonenshine, D. E. (Hg.) (2005): Tick-borne diseases of humans: American Society of Microbiology.

Gray, J. S. (1982): The development and questing activity of *Ixodes ricinus* (L.) (Acari: Ixodidae) under field conditions in Ireland. In: *Bulletin of Entomological Research* 72 (02).

Gray, J. S. (1985): Studies on the larval activity of the tick *Ixodes ricinus* L. in Co. Wicklow, Ireland. *Experimental & Applied Acarology*. In: *Experimental and Applied Acarology* 1 (4). DOI: 10.1007/BF01201570.

Gray, J. S. (1991): The development and seasonal activity of the tick *Ixodes ricinus*: a vector of Lyme borreliosis. In: *Review of Medical and Veterinary Entomology* 1991 (79).

Hammer, Ø.; Harper, D. A. T.; Ryan, P. D. (2001): PAST. Paleontological statistics software package for education and data analysis. In: *Palaeontologia Electronica* 4 (1).

Hausdorf, G. (2008): Bekanntmachung des Bundesministeriums für Bildung und Forschung von Richtlinien zur Einrichtung einer nationalen Forschungsplattform für Zoonosen. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Webseite. Online verfügbar unter

<http://www.bmbf.de/foerderungen/12275.php>, zuletzt aktualisiert am 04.03.2008, zuletzt geprüft am 26.06.2015.

Hausdorf, G. (2009): Richtlinien zur Förderung von weiteren Forschungsverbänden zu ausgewählten zoonotischen Infektionskrankheiten. Hg. v. Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Webseite. Online verfügbar unter <http://www.gesundheitsforschung-bmbf.de/de/2147.php>, zuletzt aktualisiert am 09.06.2015, zuletzt geprüft am 27.06.2015.

Hillyard, P. D. (1996): Ticks of north-west Europe. Keys and notes for identification of the species. Shrewsbury [England]: Published for the Linnean Society of London and the Estuarine and Coastal Sciences Association by Field Studies Council (Synopsis of the British fauna, new ser., no. 52).

Hilton, G. M.; Packham, J. R. (2003): Variation in the masting of common beech (*Fagus sylvatica* L.) in northern Europe over two centuries (1800-2001). In: *Forestry* 76 (3). DOI: 10.1093/forestry/76.3.319.

Hubálek, Z.; Anderson, J. F.; Halouzka, J.; Hájek, V. (1996): Borreliae in immature *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) ticks parasitizing birds in the Czech Republic. In: *Journal of Medical Entomology* 33 (5). DOI: 10.1093/jmedent/33.5.766.

Humair, P. F.; Iurrian, N.; Aeschlimann, A.; Gem, L. (1993a): *Borrelia burgdorferi* in a focus of Lyme borreliosis: epizootiologic contribution of small mammals. In: *Folia parasitologica* 40.

Humair, P. F.; Rais, Olivier; Gem, L. (1999): Transmission of *Borrelia afzelii* from *Apodemus* mice and *Clethrionomys* voles to *Ixodes ricinus* ticks: differential transmission pattern and overwintering maintenance. In: *Parasitology* 118 (1). DOI: 10.1017/S0031182098003564.

Humair, P. F.; Turrian, N.; Aeschlimann, A.; Gern, L. (1993b): *Ixodes ricinus* immatures on birds in a focus of Lyme borreliosis. In: *Folia parasitologica* 40 (3).

Institute of Medicine (U.S.) (2011): Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press.

IWF Wissen und Medien gGmbH. Göttingen: IWF Wissen und Medien gGmbH (Institut für den Wissenschaftlichen Film).

Jaenson, T. G. T.; Tälleklint, L. (1992): Incompetence of roe deer as reservoirs of the Lyme borreliosis spirochete. In: *Journal of Medical Entomology* 29 (5). DOI: 10.1093/jmedent/29.5.813.

- Jaenson, T. G. T.; Tälleklint, L.; Lundqvist, L.; Olsen, B.; Chirico, J.; Mejlou, H. (1994): Geographical distribution, host associations, and vector roles of ticks (Acari: Ixodidae, Argasidae) in Sweden. In: *Journal of Medical Entomology* 31 (2). DOI: 10.1093/jmedent/31.2.240.
- Jenni, L. (1987): Mass Concentrations of Bramblings *Fringilla montifringilla* in Europe 1900-1983. Their dependence upon beech mast and the effect of snow-cover. In: *Scandinavian Journal of Ornithology* 18 (2). DOI: 10.2307/3676843.
- Jensen, P. M.; Kaufmann, U. (2003): Seasonal and diel activity of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) subpopulations in Denmark. Aspects of size, physiological age, and malate dehydrogenase genotype in a forest site without any undergrowth. In: *Experimental and Applied Acarology* 30 (4). DOI: 10.1023/B:APPA.0000006515.66461.32.
- Jensen, T. S. (1982): Seed production and outbreaks of non-cyclic rodent populations in deciduous forests. In: *Oecologia* 54 (2). DOI: 10.1007/BF00378391.
- Jordan, Robert A.; Schulze, Terry L.; Dolan, Marc C. (2012): Efficacy of plant-derived and synthetic compounds on clothing as repellents against *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). In: *Journal of Medical Entomology* 49 (1). DOI: 10.1603/ME10241.
- Kulldorff, M. (2005): SaTScan™. Version 9.0: Kulldorff, M.; National Cancer Institute; Farzad Mostashari of the New York City Department of Health and Mental Hygiene. Online verfügbar unter <http://www.satscan.org/>.
- Kulldorff, M. (2010): SaTScan™ User Guide. for version 9.0. Online verfügbar unter [http://www.satscan.org/cgi-bin/satscan/register.pl/SaTScan\\_Users\\_Guide.pdf?todo=process\\_userguide\\_download](http://www.satscan.org/cgi-bin/satscan/register.pl/SaTScan_Users_Guide.pdf?todo=process_userguide_download), zuletzt geprüft am 22.10.2015.
- Kurtenbach, K.; Kampen, H.; Dizij, A.; Arndt, S.; Seitz, H. M.; Schaible, U. E.; Simon, M. M. (1995): Infestation of rodents with larval *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) is an important factor in the transmission cycle of *Borrelia burgdorferi* s.l. in German woodlands. In: *Journal of Medical Entomology* 32 (6). DOI: 10.1093/jmedent/32.6.807.
- Kurtenbach, K.; Peacey, M. F.; Rijpkema, S. G. T.; Hoodless, A. N.; Nuttall, P. A.; Randolph, S. E. (1998): Differential transmission of the genospecies of *Borrelia burgdorferi* sensu lato by game birds and small rodents in England. In: *Applied and environmental microbiology* 64 (4). Online verfügbar unter <http://aem.asm.org/content/64/4/1169.full>.

- La Fuente, J. de (2003): The fossil record and the origin of ticks (Acari: Parasitiformes: Ixodida). *Experimental & Applied Acarology*. In: *Experimental and Applied Acarology* 29 (3-4). DOI: 10.1023/A:1025824702816.
- La Fuente, J. de; Almazán, C.; Canales, M.; Pérez de la Lastra, J. M.; Kocan, K. M.; Willadsen, P. (2007): A ten-year review of commercial vaccine performance for control of tick infestations on cattle. In: *Animal health research reviews / Conference of Research Workers in Animal Diseases* 8 (1). DOI: 10.1017/S1466252307001193.
- Landesamt für Gesundheit und Soziales (Hg.) (2011): Epidemiologischer Jahresbericht 2011 - Version 4 (28.01.2013). Über die erfassten meldepflichtigen Infektionserkrankungen in Berlin. Berlin. Online verfügbar unter <http://www.berlin.de/imperia/md/content/lageso/gesundheit/infektionsschutz/epijahresbericht2013.pdf?start&ts=1362563651&file=epijahresbericht2013.pdf>, zuletzt geprüft am 28.11.2015.
- Lane, R. S. (1990): Susceptibility of the western fence lizard (*Sceloporus occidentalis*) to the Lyme borreliosis spirochete (*Borrelia burgdorferi*). In: *Am J Trop Med Hyg* 42 (1).
- Lees, A. D.; Milne, A. (1951): The seasonal and diurnal activities of individual sheep ticks (*Ixodes ricinus* L.). In: *Parasitology* 41 (3-4). DOI: 10.1017/S0031182000084031.
- Lindgren, E.; Tälleklint, L.; Polfeldt, T. (2000): Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. In: *Environmental Health Perspectives* 108 (2). DOI: 10.2307/3454509.
- Lohr, B.; Muller, I.; Mai, M.; Norris, D. E.; Schoffski, O.; Hunfeld, K. P. (2015): Epidemiology and cost of hospital care for Lyme borreliosis in Germany: lessons from a health care utilization database analysis. In: *Ticks and tick-borne diseases* 6 (1). DOI: 10.1016/j.ttbdis.2014.09.004.
- Luft, B. J. (2011): Lyme disease: Approaches to understanding a multidimensional disease. In: *Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report*. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 67–71.
- Mather, T. N.; Ribeiro, J. M.; Spielman, A. (1987): Lyme disease and babesiosis: Acaricide focused on potentially infected ticks. In: *The American journal of tropical medicine and hygiene* 36 (3).

- Matuschka, F.-R.; Eiffert, H.; Ohlenbusch, A.; Richter, D.; Schein, E.; Spielman, A. (1994): Transmission of the agent of Lyme disease on a subtropical island. In: *Tropical medicine and parasitology* 45 (1).
- Matuschka, F.-R.; Endepols, S.; Richter, D.; Ohlenbusch, A.; Eiffert, H.; Spielman, A. (1996): Risk of urban Lyme disease enhanced by the presence of rats. In: *Journal of Infectious Diseases* 174 (5). DOI: 10.1093/infdis/174.5.1108.
- Matuschka, F.-R.; Fischer, P.; Heiler, M.; Richter, D.; Spielman, A. (1992): Capacity of european animals as reservoir hosts for the Lyme disease spirochete. In: *Journal of Infectious Diseases* 165 (3). DOI: 10.1093/infdis/165.3.479.
- Matuschka, F.-R.; Heiler, M.; Eiffert, H.; Fischer, P.; Lotter, H.; Spielman, A. (1993): Diversionary role of hoofed game in the transmission of Lyme disease spirochetes. In: *The American journal of tropical medicine and hygiene* 48 (5).
- Matuschka, F.-R.; Lange, R.; Spielman, A.; Richter, D.; Fischer, P. (1990): Subadult *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on rodents in Berlin, West Germany. In: *Journal of Medical Entomology* 27 (3). DOI: 10.1093/jmedent/27.3.385.
- Matuschka, F.-R.; Schinkel, T. W.; Klug, B.; Spielman, A.; Richter, D. (2000): Relative incompetence of European rabbits for Lyme disease spirochaetes. In: *Parasitology* 121 (03). Online verfügbar unter [http://journals.cambridge.org/article\\_S0031182099006241](http://journals.cambridge.org/article_S0031182099006241).
- Matuschka, F.-R.; Spielman, A. (1986): The emergence of Lyme disease in a changing environment in North America and Central Europe. In: *Experimental and Applied Acarology* 2 (4). DOI: 10.1007/BF01193900.
- Mejlon, H. A.; Jaenson, T. G. T. (1993): Seasonal prevalence of *Borrelia burgdorferi* in *Ixodes ricinus* in different vegetation types in Sweden. In: *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 25 (4). DOI: 10.3109/00365549309008526.
- Microsoft Office Professional 2010 ©. Excel (2010). Version 14.0.7153.5000 (32-Bit): Microsoft Corporation.
- Müller, I.; Freitag, M. H.; Poggensee, G.; Scharnetzky, E.; Straube, E.; Schoerner, Ch. et al. (2012): Evaluating frequency, diagnostic quality, and cost of Lyme borreliosis testing in Germany: A retrospective model analysis. In: *Journal of Immunology Research* 2012. DOI: 10.1155/2012/595427.
- Müller, K. (o.J.): Stadtmessnetz Berlin. Freie Universität Berlin. Webseite. Online verfügbar unter <http://www.geo.fu-berlin.de/met/service/stadtmessnetz/>, zuletzt geprüft am 08.09.2015.

Munderloh, U. G. (2011): Emerging and reemerging tick-borne infections: Genetic manipulation of intracellular tick-borne pathogens. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 38–41.

Nakazawa, M. (2007): fmsb. Version 0.5.2. Japan: Pearson Education. Online verfügbar unter <https://cran.r-project.org/web/packages/fmsb/index.html>.

Needham, G. R.; Teel, P. D. (1991): Off-host physiological ecology of *Ixodid* ticks. In: *Annual review of entomology* 36 (1).

o.A. (2012): QIAamp® DNA Mini and Blood Mini Handbook. For DNA purification from whole blood, plasma, serum, buffy coat, lymphocytes, dried blood spots (QIAamp DNA Mini Kit only), body fluids, cultured cells, swabs, and tissue (QIAamp DNA Mini Kit only). Online verfügbar unter <https://www.qiagen.com/de/resources/resourcedetail?id=67893a91-946f-49b5-8033-394fa5d752ea&lang=en>, zuletzt geprüft am 26.10.2015.

o.A. (2015a): Lyme disease maps. Hg. v. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Online verfügbar unter <http://www.cdc.gov/lyme/stats/maps.html>, zuletzt aktualisiert am 05.11.2015, zuletzt geprüft am 28.01.2016.

o.A. (2015b): QIAquick® Spin Handbook. QIAquick PCR Purification Kit For purification of PCR products, 100 bp to 10 kb. Online verfügbar unter <https://www.qiagen.com/de/resources/resourcedetail?id=3987caa6-ef28-4abd-927e-d5759d986658&lang=en>, zuletzt geprüft am 26.10.2015.

o.V. (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. leben.natur.vielfalt. die Strategie. 3. Aufl. Unter Mitarbeit von Jonna Kückler-Krischun, Alfred Maria Walter. Hg. v. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Referat Öffentlichkeitsarbeit. BMU. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere\\_biolog\\_vielfalt\\_strategie\\_bf.pdf](http://www.biologischevielfalt.de/fileadmin/NBS/documents/broschuere_biolog_vielfalt_strategie_bf.pdf), zuletzt geprüft am 23.06.2015.

o.V. (2008): One Health : A New professional imperative. One Health Initiative Task Force : Final Report. Hg. v. American Veterinary Medical Association (AVMA). USA. Online verfügbar unter [https://www.avma.org/KB/Resources/Reports/Documents/onehealth\\_final.pdf](https://www.avma.org/KB/Resources/Reports/Documents/onehealth_final.pdf).

Ohlenbusch, A. (1996): Beiträge zur Diagnostik und Pathogenese der Lyme-Borreliose und zur Transmission des Erregers "Borrelia burgdorferi". 1. Aufl. Göttingen: Cuvillier.

Ohlenbusch, A.; Matuschka, F.-R.; Richter, D.; Christen, H.-J.; Thomssen, R.; Spielman, A.; Eiffert, H. (1996): Etiology of the Acrodermatitis chronica atrophicans lesion in Lyme disease. In: *Journal of Infectious Diseases* 174 (2). DOI: 10.1093/infdis/174.2.421.

Olsén, B.; Jaenson, T. G.; Bergström, S. (1995): Prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato-infected ticks on migrating birds. In: *Applied and environmental microbiology* 61 (8). Online verfügbar unter <http://aem.asm.org/content/61/8/3082.full.pdf>.

Olson, S. H.; Patz, J. A. (2011): Global environmental change and tick-borne disease incidence. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 267–290.

Ostfeld, R. S. (2011): A systems approach to understanding tick-borne diseases: People, animals, and ecosystems. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 15–24.

Paddock, C. D.; Telford, S. R. (2011): Through a glass, darkly: The global incidence of tick-borne diseases. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 221–266.

Perret, J.-L.; Guigoz, E.; Rais, O.; Gern, L. (2000): Influence of saturation deficit and temperature on *Ixodes ricinus* tick questing activity in a Lyme borreliosis-endemic area (Switzerland). In: *Parasitology Research* 86 (7). DOI: 10.1007/s004360000209.

Piesman, J.; Mather, T. N.; Dammin, G. J.; Telford, S. R. A. M.; Lastavica, C. C.; Spielman, A. (1987): Seasonal variation of transmission risk of Lyme disease and human babesiosis. In: *Am. J. Epidemiol.* 126 (6). Online verfügbar unter <http://aje.oxfordjournals.org/content/126/6/1187.full.pdf>.

Pucek, Z.; Jędrzejewski, W.; Jędrzejewska, B.; Pucek, M. (1993): Rodent population dynamics in a primeval deciduous forest (Białowieża National Park) in relation to weather, seed crop, and predation. In: *Acta Theriologica* 38. DOI: 10.4098/AT.arch.93-18.

R Core Team (2014): R©. Sock it to Me. Version 3.1.1 (2014-07-10). Vienna: The R Foundation for Statistical Computing. Online verfügbar unter <http://www.R-project.org/>.

- Randolph, S. E. (2004): Tick ecology. Processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. In: *Parasitology* 129. DOI: 10.1017/S0031182004004925.
- Randolph, S. E. (2008): Tick-borne encephalitis incidence in central and eastern Europe: Consequences of political transition. In: *Microbes and Infection* 10 (3). DOI: 10.1016/j.micinf.2007.12.005.
- Randolph, S. E.; Rogers, D. J. (2010): The arrival, establishment and spread of exotic diseases: patterns and predictions. In: *Nature reviews. Microbiology* 8 (5). DOI: 10.1038/nrmicro2336.
- Randolph, S.E; Green, R.M; Hoodless, A.N; Peacey, M.F (2002): An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*. In: *International journal for parasitology* 32 (8). DOI: 10.1016/S0020-7519(02)00030-9.
- Rauter, C.; Hartung, T. (2005): Prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies in *Ixodes ricinus* ticks in Europe: A metaanalysis. In: *Applied and environmental microbiology* 71 (11). DOI: 10.1128/AEM.71.11.7203-7216.2005.
- Richter, D.; Debski, A.; Hubalek, Z.; Matuschka, F.-R. (2012): Absence of Lyme disease spirochetes in larval *Ixodes ricinus* ticks. In: *Vector borne and zoonotic diseases* 12 (1). DOI: 10.1089/vbz.2011.0668.
- Richter, D.; Endepols, S.; Ohlenbusch, A.; Eiffert, H.; Spielman, A.; Matuschka, F. R. (1999): Genospecies diversity of Lyme disease spirochetes in rodent reservoirs. In: *Emerging infectious diseases* 5 (2). DOI: 10.3201/eid0502.990218.
- Richter, D.; Klug, B.; Spielman, A.; Matuschka, F.-R. (2004a): Adaptation of diverse Lyme disease spirochetes in a natural rodent reservoir. In: *Infection and Immunity* 72 (4). DOI: 10.1128/IAI.72.4.2442-2444.2004.
- Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2006a): Modulatory effect of cattle on risk for lyme disease. In: *Emerging infectious diseases* 12 (12). DOI: 10.3201/eid1212.051552.
- Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2006b): Perpetuation of the Lyme disease spirochete *Borrelia lusitaniae* by Lizards. In: *Applied and environmental microbiology* 72 (7). DOI: 10.1128/AEM.00285-06.
- Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2010): Elimination of Lyme disease spirochetes from ticks feeding on domestic ruminants. In: *Applied and environmental microbiology* 76 (22). DOI: 10.1128/AEM.01649-10.

- Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2011): Differential Risk for Lyme Disease along Hiking Trail, Germany. In: *Emerging infectious diseases* 17 (9). DOI: 10.3201/eid1709.101523.
- Richter, D.; Schlee, D. B.; Allgöwer, R.; Matuschka, F.-R. (2004b): Relationships of a novel Lyme disease spirochete, *Borrelia spielmani* sp. nov., with its hosts in central Europe. In: *Applied and environmental microbiology* 70 (11). DOI: 10.1128/AEM.70.11.6414-6419.2004.
- Richter, D.; Schlee, D. B.; Matuschka, F.-R. (2003): Relapsing fever-like spirochetes infecting European vector tick of Lyme disease agent. In: *Emerging infectious diseases* 9 (6). DOI: 10.3201/eid0906.020459.
- Richter, D.; Schlee, D. B.; Matuschka, F.-R. (2011): Reservoir competence of various rodents for the Lyme disease spirochete *Borrelia spielmanii*. In: *Applied and environmental microbiology* 77 (11). DOI: 10.1128/AEM.00022-11.
- Richter, D.; Schröder, B.; Hartmann, N. K.; Matuschka, F.-R. (2013): Spatial stratification of various Lyme disease spirochetes in a Central European site. In: *FEMS Microbiology Ecology* 83 (3). DOI: 10.1111/1574-6941.12029.
- Richter, D.; Spielman, A.; Komar, N.; Matuschka, F.-R. (2000): Competence of American robins as reservoir hosts for Lyme disease spirochetes. In: *Emerging infectious diseases* 6 (2).
- Rizzoli, A.; Hauffe, H. C.; Carpi, G.; Vourc'h, G. I.; Neteler, M.; Rosà R. (2011): Lyme borreliosis in Europe. In: *Euro Surveill* 16 (27). Online verfügbar unter <http://www.eurosurveillance.org/ViewArticle.aspx?ArticleId=19906>.
- Robert Koch-Institut (RKI) (Hg.) (2009): Epidemiologisches Bulletin 5/2009. Aktuelle Daten und Informationen zu Infektionskrankheiten und Public Health. Unter Mitarbeit von J. Seedat. Berlin. Online verfügbar unter [http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2009/Ausgaben/05\\_09.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Archiv/2009/Ausgaben/05_09.pdf?__blob=publicationFile), zuletzt geprüft am 28.11.2015.
- Rollend, L.; Fish, D.; Childs, J. E. (2013): Transovarial transmission of *Borrelia* spirochetes by *Ixodes scapularis*: A summary of the literature and recent observations. In: *Ticks and tick-borne diseases* 4 (1–2). DOI: 10.1016/j.ttbdis.2012.06.008.
- Schulz, M.; Mahling, M.; Pfister, K. (2014): Abundance and seasonal activity of questing *Ixodes ricinus* ticks in their natural habitats in southern Germany in 2011. In: *Journal of Vector Ecology* 39 (1). DOI: 10.1111/j.1948-7134.2014.12070.x.
- Schulze, T. L.; Jordan, R. A.; Hung, R. W. (1995): Suppression of subadult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) following removal of leaf litter. In: *Journal of Medical Entomology* 32 (5). DOI: 10.1093/jmedent/32.5.730.

- Schulze, T. L.; Jordan, R. A.; Hung, R. W. (2001): Effects of selected meteorological factors on diurnal questing of *Ixodes scapularis* and *Amblyomma americanum* (Acari: Ixodidae). In: *Journal of Medical Entomology* 38 (2). DOI: 10.1603/0022-2585-38.2.318.
- Smith, R. P.; Schoen, R. T.; Rahn, D. W.; Sikand, V. K.; Nowakowski, J.; Parenti, D. L. et al. (2002): Clinical characteristics and treatment outcome of early Lyme disease in patients with microbiologically confirmed *Erythema migrans*. In: *Annals of Internal Medicine* 136 (6). DOI: 10.7326/0003-4819-136-6-200203190-00005.
- Sréter, T.; Széll, Z.; Varga, I. (2005): Spatial distribution of *Dermacentor reticulatus* and *Ixodes ricinus* in Hungary: Evidence for change? In: *Veterinary parasitology* 128 (3-4). DOI: 10.1016/j.vetpar.2004.11.025.
- Stanek, G.; Reiter, M. (2011): The expanding Lyme *Borrelia* complex - clinical significance of genomic species? In: *Clinical Microbiology and Infection* 17 (4). DOI: 10.1111/j.1469-0691.2011.03492.x.
- Steere, A. C. (1990): Clinical definitions and differential diagnosis of Lyme arthritis. In: *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 77.
- Steere, A. C.; Bartenhagen, N. H.; Craft, J. E.; Hutchinson, G. J.; Newman, J. H.; Pachner, A. R.; ... & Malawista, S. E. (1983): The early clinical manifestations of Lyme disease. In: *Annals of Internal Medicine* 99 (1). DOI: 10.7326/0003-4819-99-1-76.
- Steere, A. C.; Bartenhagen, N. H.; Craft, J. E.; Hutchinson, G. J.; Newman, J. H.; Pachner, A. R.; ... & Malawista, S. E. (1986): Clinical manifestations of lyme disease. In: *Zentralblatt für Bakteriologie, Mikrobiologie und Hygiene. Series A: Medical Microbiology, Infectious Diseases, Virology, Parasitology* 263 (1-2). DOI: 10.1016/S0176-6724(86)80123-7.
- Steere, A. C.; Coburn, J.; Glickstein, L. (2004): The emergence of Lyme disease. In: *Journal of Clinical Investigation* 113 (8). DOI: 10.1172/JCI200421681.
- Steere, A. C.; Schoen, R. T.; Taylor, E. (1987): The clinical evolution of Lyme arthritis. In: *Annals of Internal Medicine* 107 (5). DOI: 10.7326/0003-4819-107-5-725.
- Steere, A. C.; Sikand, V. K. (2003): The presenting manifestations of Lyme disease and the outcomes of treatment. In: *The New England journal of medicine* 348 (24). DOI: 10.1056/NEJM200306123482423.
- Tack, W.; Madder, M.; Frenne, P. de; Vanhellefont, M.; Gruwez, R.; Verheyen, K. (2011): The effects of sampling method and vegetation type on the estimated abundance of *Ixodes ricinus* ticks in forests. In: *Experimental & applied acarology* 54 (3). DOI: 10.1007/s10493-011-9444-6.

- Tälleklint, L.; Jaenson, T. G. T. (1997): Infestation of mammals by *Ixodes ricinus* ticks (Acari: *Ixodidae*) in south-central Sweden. *Experimental & Applied Acarology*. In: *Exp Appl Acarol* 21 (12). DOI: 10.1023/A:1018473122070.
- Tälleklint-Eisen, L.; Lane, R. S. (2000): Efficiency of drag sampling for estimating population sizes of *Ixodes pacificus* (Acari: *Ixodidae*) nymphs in leaf litter. In: *Journal of Medical Entomology* 37 (3). DOI: 10.1093/jmedent/37.3.484.
- Tappe, J.; Jordan, D.; Janecek, E.; Fingerle, V.; Strube, C. (2014): Revisited: *Borrelia burgdorferi* sensu lato infections in hard ticks (*Ixodes ricinus*) in the city of Hanover (Germany). In: *Parasites & Vectors* 7 (441). DOI: 10.1186/1756-3305-7-441.
- Telford, S. R.; Mather, T. N.; Moore, S. I.; Wilson, M. L.; Spielman, A. (1988): Incompetence of deer as reservoirs of the Lyme disease spirochete. In: *Am J Trop Med Hyg* 39 (1).
- Tersago, K.; Verhagen, R.; Servais, A.; Heyman, P.; Ducoffre, G.; Leirs, H. (2009): Hantavirus disease (nephropathia epidemica) in Belgium: effects of tree seed production and climate. In: *Epidemiology and Infection* 137 (2). DOI: 10.1017/S0950268808000940.
- van Dam, A. P.; Kuiper, H.; Vos, K.; Widjojokusumo, A.; Jongh, B. M. de; Spanjaard, L. et al. (1993): Different genospecies of *Borrelia burgdorferi* are associated with distinct clinical manifestations of Lyme borreliosis. In: *Clinical Infectious Diseases* 17 (4). DOI: 10.1093/clinids/17.4.708.
- Van der Linde, M. R. (1990): Lyme carditis: Clinical characteristics of 105 cases. In: *Scandinavian Journal of Infectious Diseases* 77.
- Vanwambeke, S. O.; Sumilo, D.; Bormane, A.; Randolph, S. E. (2010): Landscape predictors of tick-borne encephalitis in Latvia: land cover, land use, and land ownership. In: *Vector borne and zoonotic diseases* 10 (5). DOI: 10.1089/vbz.2009.0116.
- Vassallo, M.; Pichon, B.; Cabaret, J.; Figureau, C.; Pérez-Eid, C. (2000): Methodology for sampling questing nymphs of *Ixodes Ricinus* (Acari: *Ixodidae*), the principal vector of Lyme disease in Europe. In: *Journal of Medical Entomology* 37 (3). DOI: 10.1093/jmedent/37.3.335.
- Vaughn, M. F.; Meshnick, S. R. (2011): Pilot study assessing the effectiveness of long-lasting permethrin-impregnated clothing for the prevention of tick bites. In: *Vector borne and zoonotic diseases* 11 (7). DOI: 10.1089/vbz.2010.0158.
- Vázquez, M.; Muehlenbein, C.; Cartter, M.; Hayes, E. B.; Ertel, S.; Shapiro, E. D. (2008): Effectiveness of personal protective measures to prevent Lyme disease. In: *Emerging infectious diseases* 14 (2). DOI: 10.3201/eid1402.070725.

Verhagen, R.; Leirs, H.; Verheyen, W. (2000): Demography of *Clethrionomys glareolus* in Belgium. In: *Polish Journal of Ecology* 48.

Victor, A.; Elsässer, A.; Hommel, G.; Blettner, M. (2010): Wie bewertet man die P-Wert-Flut? Hinweise zum Umgang mit multiplen Testen. Teil 10 der Serie zur Bewertung wissenschaftlicher Publikationen. In: *Deutsches Ärzteblatt* 107 (4). DOI: 10.3238/arztebl.2010.0050.

Wickham, H. (2009): ggplot2. elegant graphics for data analysis. Version. New York: Springer. Online verfügbar unter <http://had.co.nz/ggplot2/book>, zuletzt geprüft am 09.10.2015.

Wilking, H.; Stark, K. (2014): Trends in surveillance data of human Lyme borreliosis from six federal states in eastern Germany, 2009–2012. In: *Ticks and tick-borne diseases* 5 (3). DOI: 10.1016/j.ttbdis.2013.10.010.

Wormser, G. P.; Dattwyler, R. J.; Shapiro, E. D.; Halperin, J. J.; Steere, A. C.; Klempner, M. S. et al. (2006): The Clinical Assessment, Treatment, and Prevention of Lyme Disease, Human Granulocytic Anaplasmosis, and Babesiosis: Clinical Practice Guidelines by the Infectious Diseases Society of America. In: *Clinical Infectious Diseases* 43 (9). DOI: 10.1086/508667.

Wormser, Gary P. (2011): Landscape of lyme disease: current knowledge, gaps, and research needs. In: Critical needs and gaps in understanding prevention, amelioration, and resolution of Lyme and other tick-borne diseases. The short-term and long-term outcomes: workshop report. Unter Mitarbeit von L. J. King, N. L. Gerber, S. M. Ostroff, G. H. Palmer, G. E. Schutze und D. H. Walker. Washington, D.C.: National Academies Press, S. 62–67.

## 8 Anhang

### 8.1 Tabellen für die Transekt-Beschreibung (Strecken)

#### 8.1.1 Gatow

Tabelle 17: Transektbeschreibung für Gatow (Waldgesellschaft: Laub-Kiefernmischwald)

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe	Schatten
Nano	A-H	je 1m	in direkter Position zu Mikroklimastation, in den Wald hinein	Laub und Waldboden, Äste auf dem Boden	Kiefer, Buche, Birke, Erle, Baumschößlinge	keine	überwiegend schattig
	I-Z	je 1m	in direkter Position zu Mikroklimastation, am Übergang von Wald zu Schneise	überwiegend Grasarten, verschiedene Moosarten		bis 50cm	überwiegend schattig
Mikro	1a	14,00	Fortsetzung von Nano I-Z, am Übergang von Wald zu Schneise, Schneise hat Ost-West Ausrichtung	überwiegend Grasarten	Kiefer, Buche, Birke, Erle, Baumschößlinge, sowie verschiedene Grasarten und Moos	50-100cm	überwiegend schattig
	1b	15,40		überwiegend Grasarten		50-100cm	halbschatten
	1c	14,80		überwiegend Grasarten, Heidenelke, gelbes Löwenmäulchen,		50-100cm	eher sonnig
	2a	14,80	Parallel zu Strecke 1, ungefähr in Mitte von Waldschneise	überwiegend Grasarten	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre	50-100cm	sonnig
	2b	13,30		überwiegend Grasarten	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre	50-100cm	sonnig
	2c	15,50	Parallel zu Strecke 1, ungefähr in Mitte von Waldschneise, um kleine Baum- und Strauchgruppe herum	überwiegend Grasarten	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre	50-100cm	halbschatten
	2d	12,70		überwiegend Grasarten, leichte Bodensenke, oft mit Wasser gefüllt	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre, Johanniskraut	50-100cm	schattig
	2e	13,20	Parallel zu Strecke 1, ungefähr in Mitte von Waldschneise	überwiegend Grasarten	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre, Knopf-Farn, Johanniskraut, Braunelle	50-100cm	schattig

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe	Schatten
Mikro	3a	16,10	Parallel zu Strecke 2, am Übergang von Schneise zu Wald	überwiegend Grasarten und Diesteln, in dem Übergang zum Wald befindet sich eine Aufhäufung von Geäst und Pflanzenmaterial	verschiedene Grasarten, Disteln, Schafgarbe, wilde Möhre, Knopf-Farn, Johanniskraut, Braunelle	50-100cm	schattig
	3b	14,70				50-100cm	schattig
	3c	13,20				50-100cm	eher schattig
	3d	14,00				50-100cm	eher sonnig
	3e	15,30				50-100cm	sonnig
	4a	16,50	in Nähe der Mikroklimastation, Schneise hat Nord-Südausrichtung, am Übergang vom Waldstück zur Schneise	überwiegend Grasarten und Braunellen, Laub	verschiedene Grasarten, Disteln, Johanniskraut, Braunelle	30-70cm	eher schattig
	4b	12,50	am Übergang vom Waldstück zur Schneise			30-70cm	eher schattig
	4c	13,90				30-70cm	eher schattig
	5a	14,60	neben der Schneisenmitte, zur Strecke 6 hin			30-70cm	sonnig
	5b	16,80				30-70cm	eher sonnig
	5c	15,00				30-70cm	eher sonnig
	6a	15,20	am Übergang vom Waldstück zu Schneise			30-70cm	schattig
	6b	12,70				30-70cm	schattig
	6c	13,90				30-70cm	schattig
	Makro	7	58,00			Nord-Ost Süd-West Ausrichtung der Schneise, am Übergang zu Wald	überwiegend Grasarten, Laub
8		58,00	Schneisenmitte	überwiegend Binsengras und Grasarten	Binsengras, Gräser, Moose, Johanniskraut	30-90cm	schattig
9		55,50	Nord-Ost Süd-West Ausrichtung der Schneise, am Übergang zum Wald geflaggt	überwiegend Grasarten, Laub	Gräser, Moose	30-50cm	schattig
10a		49,00	Nord-Ost Süd-West Ausrichtung der Schneise, am Übergang zu Wald		verschiedene Grasarten, Binsengras, Labkraut, Farn, Moose, Wilde Rose	30-60cm	schattig
10b		49,00			verschiedene Grasarten, Binsengras, Labkraut, Farn, Moose, Wilde Rose	30-60cm	schattig
11a		51,00	Schneisenmitte	überwiegend Grasarten, Disteln	Gräser, Disteln, Klette, vereinzelt Schilfgras	40-200cm	schattig
11b		51,00		Gräser, Disteln, Klette, vereinzelt Schilfgras	40-200cm	schattig	

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe	Schatten
	12a	52,00	Nord-Ost Süd-West Ausrichtung der Schneise, am Übergang zu Wald	überwiegend Disteln, Brennesseln, Gräser	Disteln, Brennesseln, Gräser	50-160cm	schattig
	12b	52,00			Disteln, Brennesseln, Gräser	50-160cm	schattig
Makro	13	96,50	Süd-Ost nach Nord-West Ausrichtung des Waldeges, entlang Waldweg am Übergang zum Baumbestand	überwiegend Waldboeden, Laub, vereinzelt Gräser	Gräser, Moose, kleines Springkraut, vereinzelt Labkraut	20-50cm	schattig
	14	99,00			Gräser, Moose, kleines Springkraut, vereinzelt Labkraut	20-50cm	schattig
	15	73,50	Übergang vom regelmäßig gemähten Wiesenteil (kurzes Gras) zur offenen Fläche (hohes Gras), angrenzend an Waldstück, mit vereinzelt Bäumen und Büschen	überwiegend hohes Gras, schilfartig	verschiedene Grasarten, Seifenkraut, Schleierkraut, mehrjährige Staude aus der Familie der Raubblattgewächse (Vergissmeinnicht-Art), Heidenelke, Lichtnelke	50-160cm	sonnig
	16	54,40	offene Fläche angrenzend an Waldstück, mit vereinzelt Bäumen und Büschen			50-160cm	sonnig

## 8.1.2 Tegel

Tabelle 18: Transektbeschreibung für Tegel

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Waldgesellschaft	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe	Schatten
Nano	A-Q	16,00 (je 1m)	direkte Position zur Mikroklimastation	Laubmischwald	im Frühjahr und Herbst dichter Belag mit Laub	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut	bis 50cm	ganzjährig eher schattig
	Q-V	05,00 (je 1m)	direkte Position zur Mikroklimastation	Laubmischwald	im Frühjahr und Herbst dichter Belag mit Laub	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut	bis 50cm	ganzjährig eher schattig
Mikro	4a	13,50	erster Abschnitt, bogenförmig um Mikroklimastation; Übergangsgebiet an der Grenze von der Baumgruppe zum Fahrweg	Laubmischwald	Laub und Waldboden	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut (wenig)	bis 15cm	ganzjährig eher schattig
	4b	13,00		Laubmischwald	Laub und Waldboden	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut (wenig)	bis 15cm	halbschattig
	4c	14,20		Laubmischwald	Laub und Waldboden, Baumstamm	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut (wenig)	bis 5cm	halbschattig
	4d	12,00		Laubmischwald	Laub und Waldboden	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, mittelhohe Bodenvegetation: Efeu, Springkraut (wenig)	bis 15cm	ganzjährig eher schattig

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Waldgesellschaft	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe	Schatten
Mikro	6a	15,30	zweiter Abschnitt, weiter bogenförmig um	Buchenmischwald	Laub und Waldboden	angrenzendes Unterholz	bis 10cm	ganzjährig eher
	6b	13,50	Mikroklimastation;	Buchenmischwald	Laub und Waldboden	angrenzendes Unterholz	bis 10cm	ganzjährig eher schattig
	6c	12,70	Grenzgebiet am Übergang von Baumgruppe zu	Buchenmischwald	Laub und Waldboden	angrenzendes Unterholz	bis 10cm	ganzjährig eher schattig
	6d	15,40	Fuhrweg	Buchenmischwald	Laub und Waldboden, vereinzelt Gräser	Buchen	bis 10cm	ganzjährig eher schattig
Makro	1	42,50	entlang kleines "Wäldchen": Ausrichtung hin zur Makroklimastation, Übergangsbereich zwischen Wildwiese und "Wäldchen"	Buchenmischwald	Wiesenrand	Laubbäume	15-50cm	eher schattig
	2	21,80	entlang kleines "Wäldchen", Übergang zwischen Baumbestand und Fuhrweg	Buchenmischwald	Laub, tlw. sandige Abschnitte	Efeu, Springkraut, vereinzelt Gräser	bis 70cm	eher sonnig
	3	24,30	entlang Baum- und Strauchbestand, Übergang zum Fuhrweg	Buchenmischwald	eher sandiger, sehr lockerer Untergrund: kaum, Laub, vereinzelt Moos, Waldboden	angrenzendes Unterholz	bis 10cm	ganzjährig eher schattig
	5	55,10	Fläche gegenüber dem Nano-Bereich	Buchenmischwald	hohe Bodenvegetation	Mischung aus verschiedenen Laubbäumen, Efeu, Springkraut	bis 80cm	eher schattig
	8	81,00	rechts vom Weg, Hanglage, Übergang zum Waldweg	Buchenmischwald	überwiegend Laub und Waldboden	Buchen	bis 10cm	eher schattig
	9	84,50	rechts vom Weg am Übergang, ebene Lage, nach rechts vom Weg abfallend und übergehend in Senke	Buchenmischwald	überwiegend Laub und Waldboden	Buchenwald, Ahorn- und Buchenschößlinge	bis 10cm	eher schattig
	10	62,20	rechts vom Weg, in einer Senke, Fläche beflaggt	Buchenmischwald	überwiegend Laub und Schößlinge	Buchenwald, Ahorn- und Buchenschößlinge	bis 2m	halbschattig
	11	95,00	links vom Weg, ebene Lage, nach links vom Weg abfallend und übergehend in eine Senke, beflaggt auf dem ebenen Abschnitt am Übergang zum Waldweg	Buchen-Kieferwald	überwiegend Laub und Waldboden	überwiegend Buche und Kiefer, Ahorn- und Buchenschößlinge	bis 10cm	eher schattig
	12	59,90	links vom Weg, in einer Senke, Fläche beflaggt	Buchen-Kieferwald	überwiegend Nadeln und vereinzelt Laub, sowie Gehölz auf dem Untergrund	überwiegend Buche und Kiefer, kaum Bodenvegetation, vereinzelt Ahorn- und Buchenschößlinge	bis 10cm	eher schattig
	13	62,90	links vom Weg, Hanglage, beflaggt am Übergang zum Waldweg hin	Buchenmischwald	überwiegend Laub und Waldboden	Buchenwald, Ahorn- und Buchenschößlinge	bis 10cm	eher schattig

### 8.1.3 Wannsee

Tabelle 19: Transektbeschreibung für Wannsee

Typ	Strecke	Streckenlänge [m]	Beschreibung	Bodenbedeckung	Vegetation	Vegetationshöhe
Makro	1	40,30	Anfang des Gartens, links von kleinem Pfad	sandig	vereinzelt Grasbüschel, Ziersträucher	10-70cm
	2	48,30	Pfad nach rechts führend	sandig	vereinzelt Grasbüschel, Ziersträucher	10-70cm
	3	59,00	angrenzend zum Komposthaufen	Sand, Laub	Efeu	10cm
	4	53,20	angrenzend zu Buchenschößlingen	sandig	Efeu, Gräser	10cm
	5	40,00	Begrenzung zur Wiese (Transekt 10, 11)	sandig	Gras, Moos	5-10cm
	6	54,50	um Holzaufhäufung A herum	sandig	kaum, Gräser	5cm
	7	46,00	Wiese, angrenzend zu Holzaufhäufung (6) und Transekt 3	Moos	Gras, Moos	5-15cm
	8	45,50	zwischen Holzaufhäufung (9) und Eichenbaum	Moos	Gras, Moos	5-15cm
	9	54,00	um Holzaufhäufung B herum	sandig	kaum, Gräser	5cm
	10	54,50	Wiese, angrenzend zu Holzaufhäufung (Transekt 6)	Moos	Gras, Moos	5-15cm
	11	51,50	Wiese, angrenzend zu Holzaufhäufung (Transekt 9)	Moos	Gras, Moos	5-15cm

Waldgesellschaft: keine, diverse Laubbäume

Schatten: gesamter Standort ganzjährig schattig

## 8.2 Testergebnisse Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte

### 8.2.1 Zeckenaktivität für Mikro- und Makrotransekte

Tabelle 20: Signifikanztests Dichtevergleich wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für alle Standorte (Absatz 3.2.1)

Standort	Jahr	Test	Paarung	Stadium		
				Ny+Ad	Ny	Ad
Alle	2010-2012	KW	Alle	***	***	***
		MW	2010 - 2011	ns (0,05)	* (0,0154)	ns (0,63)
		MW	2010 - 2012	***	***	***
		MW	2011 - 2012	***	*** (0,0006)	***

Test: KW: Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest), MW: ungepaarter Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test);

Ny: Nymphen, Ad: Adulte; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

Tabelle 21: Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre (Absatz: 3.2.2)

Standort	Jahr	Test	Paarung	Stadium		
				Ny+Ad	Ny	Ad
		KW	Alle	***	*** (0,00026)	***
Alle	2010-2012	MW	GA-TF	ns (0,2441)	** (0,0016)	***
		MW	GA-WD	*** (0,0004)	ns (0,1616)	***
		MW	TF-WD	*** (0,0002)	** (0,0014)	ns (0,55)

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: KW: Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest), MW: ungepaarter Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test); Ny: Nymphen, Ad: Adulte; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

**Tabelle 22: Signifikanztests Dichtevergleich wirtsuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte (Absatz: 3.2.3)**

Standort	Paarung	Test	p-Wert Signifikanz	
			Ny	Ad
GA	Alle	KW	ns	***
	2010-2011	MW	ns	ns
	2010-2012	MW	ns	***
	2011-2012	MW	ns	***
TF	Alle	KW	***	ns
	2010-2011	MW	ns	ns
	2010-2012	MW	***	ns
	2011-2012	MW	***	ns
WD	Alle	KW	***	***
	2010-2011	MW	*	*
	2010-2012	MW	***	***
	2011-2012	MW	***	**

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: KW: Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest), MW: ungepaarter Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test); Ny: Nymphen, Ad: Adulte; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

## 8.2.2 Zeitliche Betrachtung – Saisonale Verläufe im Vergleich

### 8.2.2.1 Übersicht der Signifikanztests

**Tabelle 23: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen und Adulten im Jahr für alle Standorte – Übersicht zu den FM und PHT-Tests (Absatz: 3.3)**

Standort	Jahr	FM-Signifikanz		PHT-Signifikanz	
		Ny	Ad	Ny	Ad
Gatow	2010	***	***	s	s
	2011	***	***	s	s
	2012	***	***	s	ns
Tegel	2010	***	***	s	ns
	2011	***	***	s	ns
	2012	***	*	ns	ns
Wannsee	2010	***	***	ns	ns
	2011	***	***	ns	ns
	2012	***	***	ns	ns

FM - Friedman Test; PHT- Post Hoc Test (Wilcoxon-Rangsummen-Test, gepaart); ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ ); die signifikanten PHT-Ergebnisse sind im Einzelnen in Abschnitt 8.2.2.2 angegeben

### 8.2.2.2 Post-Hoc-Tests (PHT): Wilcoxon-Rangsummen-Test, gepaart

Tabelle 24: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1)

Datum1	Datum2	p- Werte
08.07.2010	13.04.2010	0,0009
22.07.2010	13.04.2010	0,0005
04.08.2010	13.04.2010	0,0009
20.08.2010	13.04.2010	0,0015
03.09.2010	13.04.2010	0,0018
30.09.2010	13.04.2010	0,0035
13.10.2010	13.04.2010	0,0076
26.10.2010	13.04.2010	0,0007
08.07.2010	29.04.2010	0,0012
22.07.2010	29.04.2010	0,0005
04.08.2010	29.04.2010	0,0008
20.08.2010	29.04.2010	0,0009
03.09.2010	29.04.2010	0,0077
30.09.2010	29.04.2010	0,0006
13.10.2010	29.04.2010	0,0023
26.10.2010	29.04.2010	0,0005
08.07.2010	26.05.2010	0,0010
22.07.2010	26.05.2010	0,0007
04.08.2010	26.05.2010	0,0009
20.08.2010	26.05.2010	0,0010
03.09.2010	26.05.2010	0,0035
30.09.2010	26.05.2010	0,0019
13.10.2010	26.05.2010	0,0070
26.10.2010	26.05.2010	0,0007
08.07.2010	09.06.2010	0,0085
22.07.2010	09.06.2010	0,0018
04.08.2010	09.06.2010	0,0421
20.08.2010	09.06.2010	0,0313
30.09.2010	09.06.2010	0,0399
26.10.2010	09.06.2010	0,0052
08.07.2010	24.06.2010	0,0322
22.07.2010	24.06.2010	0,0076
04.08.2010	24.06.2010	0,0468
26.10.2010	24.06.2010	0,0209

**Tabelle 25: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1)**

<b>Datum1</b>	<b>Datum2</b>	<b>p-Werte</b>
29.03.2011	15.03.2011	0,0128
15.04.2011	15.03.2011	0,0001
29.04.2011	15.03.2011	0,0002
09.05.2011	15.03.2011	0,0054
24.05.2011	15.03.2011	0,0006
15.06.2011	15.03.2011	0,0029
27.06.2011	15.03.2011	0,0160
15.04.2011	29.03.2011	0,0003
29.04.2011	29.03.2011	0,0257
24.05.2011	29.03.2011	0,0301
17.08.2011	29.03.2011	0,0354
14.10.2011	29.03.2011	0,0078
24.10.2011	29.03.2011	0,0159
29.04.2011	15.04.2011	0,0295
09.05.2011	15.04.2011	0,0099
27.06.2011	15.04.2011	0,0060
12.07.2011	15.04.2011	0,0002
26.07.2011	15.04.2011	0,0001
17.08.2011	15.04.2011	0,0002
26.08.2011	15.04.2011	0,0001
14.09.2011	15.04.2011	0,0001
29.09.2011	15.04.2011	0,0001
14.10.2011	15.04.2011	0,0001
24.10.2011	15.04.2011	0,0001
12.07.2011	29.04.2011	0,0024
26.07.2011	29.04.2011	0,0002
17.08.2011	29.04.2011	0,0004
26.08.2011	29.04.2011	0,0003
14.09.2011	29.04.2011	0,0005
29.09.2011	29.04.2011	0,0003
14.10.2011	29.04.2011	0,0003
24.10.2011	29.04.2011	0,0003
26.07.2011	09.05.2011	0,0207
17.08.2011	09.05.2011	0,0146
26.08.2011	09.05.2011	0,0174
14.09.2011	09.05.2011	0,0271
29.09.2011	09.05.2011	0,0473
14.10.2011	09.05.2011	0,0033
24.10.2011	09.05.2011	0,0063
27.06.2011	24.05.2011	0,0164
12.07.2011	24.05.2011	0,0013
26.07.2011	24.05.2011	0,0004

Datum1	Datum2	p-Werte
17.08.2011	24.05.2011	0,0004
26.08.2011	24.05.2011	0,0004
14.09.2011	24.05.2011	0,0005
29.09.2011	24.05.2011	0,0004
14.10.2011	24.05.2011	0,0004
24.10.2011	24.05.2011	0,0003
12.07.2011	15.06.2011	0,0205
26.07.2011	15.06.2011	0,0017
17.08.2011	15.06.2011	0,0108
26.08.2011	15.06.2011	0,0108
14.09.2011	15.06.2011	0,0085
29.09.2011	15.06.2011	0,0051
14.10.2011	15.06.2011	0,0032
24.10.2011	15.06.2011	0,0012
26.07.2011	27.06.2011	0,0067
26.08.2011	27.06.2011	0,0173
14.09.2011	27.06.2011	0,0164
14.10.2011	27.06.2011	0,0205
24.10.2011	27.06.2011	0,0037

Tabelle 26: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Gatow 2012 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1)

Datum1	Datum2	p-Werte
11.04.2012	22.03.2012	0,0033
11.05.2012	11.04.2012	0,0160
23.05.2012	11.04.2012	0,0025
10.07.2012	11.04.2012	0,0016
24.07.2012	11.04.2012	0,0003
29.08.2012	11.04.2012	0,0090
13.09.2012	11.04.2012	0,0071
17.10.2012	11.04.2012	0,0370
29.10.2012	11.04.2012	0,0009
10.07.2012	27.04.2012	0,0194
24.07.2012	27.04.2012	0,0078
14.06.2012	11.05.2012	0,0315
10.07.2012	14.06.2012	0,0010
24.07.2012	14.06.2012	0,0009
29.08.2012	14.06.2012	0,0457
29.10.2012	14.06.2012	0,0239
29.10.2012	26.09.2012	0,0489

**Tabelle 27: Vergleich der Tagesammeldichten von Adulten Gatow 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1)**

Datum1	Datum2	p-Werte
08.07.2010	26.05.2010	0,0363
22.07.2010	26.05.2010	0,0015
04.08.2010	26.05.2010	0,0073
20.08.2010	26.05.2010	0,0240
13.10.2010	26.05.2010	0,0080
26.10.2010	26.05.2010	0,0015
22.07.2010	09.06.2010	0,0337
22.07.2010	24.06.2010	0,0073
13.10.2010	24.06.2010	0,0297
26.10.2010	24.06.2010	0,0156

**Tabelle 28: Vergleich der Tagesammeldichten von Adulten Gatow 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.1)**

Datum1	Datum2	P-Werte
15.04.2011	15.03.2011	0,0005
15.04.2011	29.03.2011	0,0014
24.05.2011	29.03.2011	0,0179
09.05.2011	15.04.2011	0,0054
15.06.2011	15.04.2011	0,0014
12.07.2011	15.04.2011	0,0008
26.07.2011	15.04.2011	0,0006
17.08.2011	15.04.2011	0,0004
26.08.2011	15.04.2011	0,0003
14.09.2011	15.04.2011	0,0005
29.09.2011	15.04.2011	0,0003
14.10.2011	15.04.2011	0,0003
24.10.2011	15.04.2011	0,0005
26.08.2011	29.04.2011	0,0045
14.09.2011	29.04.2011	0,0051
29.09.2011	29.04.2011	0,0111
14.10.2011	29.04.2011	0,0183
24.10.2011	29.04.2011	0,0129
26.08.2011	09.05.2011	0,0285
26.07.2011	24.05.2011	0,0108
17.08.2011	24.05.2011	0,0250
26.08.2011	24.05.2011	0,0031
14.09.2011	24.05.2011	0,0031
29.09.2011	24.05.2011	0,0044
14.10.2011	24.05.2011	0,0045
24.10.2011	24.05.2011	0,0031
26.08.2011	15.06.2011	0,0196
29.09.2011	15.06.2011	0,0439

Datum1	Datum2	P-Werte
14.10.2011	15.06.2011	0,0230
26.08.2011	27.06.2011	0,0112
14.09.2011	27.06.2011	0,0086
29.09.2011	27.06.2011	0,0126
24.10.2011	27.06.2011	0,0186

Tabelle 29: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Tegel 2010 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.2)

Datum1	Datum2	p-Werte
18.05.2010	24.03.2010	0,0279
08.06.2010	24.03.2010	0,0195
23.06.2010	24.03.2010	0,0400
08.06.2010	07.04.2010	0,0299
22.07.2010	18.05.2010	0,0265
21.08.2010	18.05.2010	0,0400
25.10.2010	18.05.2010	0,0279
22.07.2010	08.06.2010	0,0279
01.10.2010	08.06.2010	0,0195
25.10.2010	08.06.2010	0,0195
25.10.2010	23.06.2010	0,0400

Tabelle 30: Vergleich der Tagesammeldichten von Nymphen Tegel 2011 – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.3.2)

Datum1	Datum2	p-Werte
16.06.2011	22.03.2011	0,0356
13.07.2011	22.03.2011	0,0257
16.06.2011	30.03.2011	0,0340
13.07.2011	30.03.2011	0,0257
09.08.2011	16.06.2011	0,0340
12.09.2011	16.06.2011	0,0356
30.09.2011	16.06.2011	0,0356
13.10.2011	16.06.2011	0,0356
25.10.2011	16.06.2011	0,0356
09.08.2011	13.07.2011	0,0257
25.08.2011	13.07.2011	0,0408
12.09.2011	13.07.2011	0,0257
30.09.2011	13.07.2011	0,0257
13.10.2011	13.07.2011	0,0257
25.10.2011	13.07.2011	0,0257

## 8.2.3 Räumliche Betrachtung

### 8.2.3.1 Streckenvergleich im Jahr und Standort – Übersicht der Signifikanztests und Ergebnisse

Tabelle 31: Vergleich der Transekttsammeldichten von Nymphen und Adulten je Standort und Jahr – FM-, PHT-Tests und Ergebnisse (Absatz: 3.4.1)

Standort	Jahr	FM-Signifikanz		PHT-Signifikanz	
		Ny	Ad	Ny	Ad
Gatow	2010	***	***	ns	ns
	2011	***	***	ns	ns
	2012	***	***	ns	ns
Tegel	2010	**	ns	ns	ns
	2011	***	***	ns	ns
	2012	(*)	(*)	ns	ns
Wannsee	2010	***	***	ns	ns
	2011	***	***	ns	ns
	2012	***	*	ns	ns

FM - Friedman Test; PHT- Post Hoc Test (Wilcoxon-Rangsummen-Test, gepaart); ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ );

### 8.2.3.2 Streckenvergleich alle Jahre zusammen – Übersicht der Signifikanztests und Ergebnisse

Tabelle 32: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten von Nymphen und Adulten je Standort über alle drei Jahre 2010-2012 (Absatz: 3.4.2)

Standort	p-Wert Signifikanz		PHT Signifikanz	
	Ny	Ad	Ny	Ad
Gatow*	***	***	S	S
Tegel	***	***	S	S
Wannsee	***	***	S	S

\*Gatow ohne Transekte 10-12; \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ ) in Friedman Test s: signifikant ( $p < 0,05$ ), PHT: Post Hoc Test (Wilcoxon-Rangsummen-Test, gepaart); die signifikanten PHT-Ergebnisse sind im Einzelnen in Abschnitt 8.2.3.3 angegeben

### 8.2.3.3 Streckenvergleich alle Jahre zusammen – Übersicht der Post-Hoc-Tests (PHT: Wilcoxon-Rangsummen-Test, gepaart) und Ergebnisse

Tabelle 33: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Gatow – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)

Strecke1	Strecke2	p-Werte
4a	1b	0,0333
6c	1b	0,0453
7	1b	0,0063
8	1b	0,0334
9	1b	0,0061

Strecke1	Strecke2	p-Werte
13	1b	0,0171
14	1b	0,0136
4a	2a	0,0140
7	2a	0,0314
9	2a	0,0217
13	2a	0,0265
14	2a	0,0142
4a	2b	0,0405
5b	3a	0,0092
5c	3a	0,0233
15	3a	0,0140
16	3a	0,0134
5c	3c	0,0310
4a	3d	0,0115
9	3d	0,0266
13	3d	0,0139
14	3d	0,0105
5a	4a	0,0282
5b	4a	0,0021
5c	4a	0,0093
16	4a	0,0243
6b	5a	0,0259
7	5a	0,0151
13	5a	0,0149
14	5a	0,0452
6a	5b	0,0231
6b	5b	0,0251
7	5b	0,0017
9	5b	0,0004
13	5b	0,0003
14	5b	0,0064
6b	5c	0,0491
6c	5c	0,0063
7	5c	0,0001
8	5c	0,0411
9	5c	0,0005
13	5c	0,0000
14	5c	0,0004
16	7	0,0310
15	9	0,0094
16	9	0,0203
16	13	0,0002
15	14	0,0488
16	14	0,0022

**Tabelle 34: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Gatow – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)**

Strecke1	Strecke2	p-Werte
7	1b	0,0069
7	1c	0,0043
13	1c	0,0046
7	2a	0,0193
7	2c	0,0174
7	2d	0,0085
7	2e	0,0014
13	2e	0,0192
7	5a	0,0004
13	5a	0,0054
7	5b	0,0455
7	5c	0,0177
7	6a	0,0143
8	7	0,0030
15	7	0,0205
16	7	0,0140
13	8	0,0282
15	13	0,0409
16	13	0,0126
16	14	0,0477

**Tabelle 35: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Tegel – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)**

Strecke1	Strecke2	p-Werte
3	4c	0,0171
10	4c	0,0138
10	1	0,0021
10	2	0,0182
5	3	0,0078
11	3	0,0039
10	5	0,0047
10	9	0,0075
11	10	0,0005
13	11	0,0157

**Tabelle 36: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Tegel – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)**

Strecke1	Strecke2	p-Werte
10	9	0,0083

**Tabelle 37: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Nymphen Wannsee – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)**

<b>Strecke1</b>	<b>Strecke2</b>	<b>p-Werte</b>
3	1	0,0015
4	1	0,0003
6	1	0,0001
9	1	0,0000
3	2	0,0073
4	2	0,0000
6	2	0,0394
9	2	0,0000
11	2	0,0043
4	3	0,0381
5	3	0,0030
7	3	0,0049
9	3	0,0002
10	3	0,0020
11	3	0,0003
5	4	0,0002
7	4	0,0001
8	4	0,0006
9	4	0,0123
10	4	0,0000
11	4	0,0000
6	5	0,0036
9	5	0,0000
7	6	0,0071
9	6	0,0000
10	6	0,0018
11	6	0,0003
9	7	0,0000
11	7	0,0461
9	8	0,0000
10	8	0,0496
11	8	0,0013
10	9	0,0000
11	9	0,0000

**Tabelle 38: Vergleich der Drei-Jahres-Transektdichten 2010-2012 von Adulten Wannsee – PHT-Ergebnisse (Absatz: 3.4.2)**

<b>Strecke1</b>	<b>Strecke2</b>	<b>p-Werte</b>
3	1	0,0007
4	1	0,0044
3	2	0,0007

Strecke1	Strecke2	p-Werte
4	2	0,0077
5	3	0,0006
6	3	0,0063
8	3	0,0377
9	3	0,0105
10	3	0,0007
11	3	0,0067
5	4	0,0027
6	4	0,0027
9	4	0,0209
10	4	0,0244
11	4	0,0260

### 8.3 Testergebnisse Zeckenaktivität für Nano-Transekte

**Tabelle 39: Ergebnisse Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Standortvergleich für alle Jahre (Absatz: 3.5.1)**

Standort-paarung	Jahr	Test	Signifikanz	
			Ny	Ad
GAN x TFN	2010-2012	KW	*	***
		MW	*	***

GAN: Gatow Nano, TFN: Tegel Nano; Test: KW: Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest), MW: ungepaarter Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test); Ny: Nymphen, Ad: Adulte; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

**Tabelle 40: Ergebnisse Signifikanztests Dichtevergleich wirtssuchender Nymphen und Adulte im Jahresvergleich für einzelne Standorte (Absatz: 3.5.2)**

Standort	Jahr	Test	Paarung	p-Wert Signifikanz	
				Ny	Ad
GAN	2010 - 2012	KW	Alle	ns	**
		MW	2010 x 2011	ns	(*)
		MW	2010 x 2012	ns	ns
		MW	2011 x 2012	ns	*
TFN	2010 - 2012	KW	Alle	***	ns
		MW	2010 x 2011	*	ns
		MW	2010 x 2012	*	ns
		MW	2011 x 2012	***	ns

GAN: Gatow Nano, TFN: Tegel Nano; Test: KW: Kruskal-Wallis-Test (Omnibustest), MW: ungepaarter Wilcoxon-Rangsummen-Test (Post-Hoc-Test); Ny: Nymphen, Ad: Adulte; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

## 8.4 Testergebnisse Prävalenzen

### 8.4.1 Konfidenzintervalle für Prävalenzen

Tabelle 41: Borrelien-Prävalenz (P, P<sub>hp</sub>, B. *miyamotoi*) und Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet

Ort	Stadium	n uts	P_Lyme-inf [%]	95% Konfidenzintervall		P_hp [%]	95% Konfidenzintervall		Bm [%]	95% Konfidenzintervall	
				unteres	oberes		unteres	oberes		unteres	oberes
Gatow	Ny	239	24,7	19,4	30,7	23,0	17,8	28,9	1,3	0,3	3,6
	Ad	201	32,8	26,4	39,8	29,4	23,2	36,2	3,5	1,4	7,0
	Ges	440	28,4	24,2	32,9	25,9	21,9	30,3	2,3	1,1	4,1
Tegel	Ny	204	14,7	10,1	20,3	8,8	5,3	13,6	1,5	0,3	4,2
	Ad	199	32,7	26,2	39,7	24,6	18,8	31,2	2,0	0,6	5,1
	Ges	403	23,6	19,5	28,0	16,6	13,1	20,6	1,7	0,7	3,5
Wannsee	Ny	199	24,1	18,4	30,7	20,1	14,8	26,3	2,5	0,8	5,8
	Ad	174	57,5	49,8	64,9	54,6	46,9	62,1	0,6	0,0	3,2
	Ges	373	39,7	34,7	44,8	36,2	31,3	41,3	1,6	0,6	3,5

**P\_Lyme-inf:** Gesamtprävalenz von *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. valaisiana* (ohne *B. miyamotoi*), **P\_hp:** Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*), **Bm:** *B. miyamotoi*, **uts:** untersucht, **hp:** humanpathogen, **inf:** infiziert

Tabelle 42: Borrelien-Prävalenz für *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s. und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet

Standort	Stadium	n uts	untersuchte <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]								
			Ba	95% Konfidenzintervall		Bs	95% Konfidenzintervall		Bb	95% Konfidenzintervall	
				unteres	oberes		unteres	oberes		unteres	oberes
Gatow	Ny	239	16,3	11,9	21,6	0,0	0,0	1,5	1,3	0,3	3,6
	Ad	201	15,4	10,7	21,2	0,0	0,0	1,8	7,5	4,2	12,0
	Ges	440	15,9	12,6	19,7	0,0	0,0	0,8	4,1	2,4	6,4
Tegel	Ny	204	0,5	0,0	2,7	0,0	0,0	1,8	2,5	0,8	5,6
	Ad	199	6,0	3,2	10,3	0,0	0,0	1,8	4,0	1,8	7,8
	Ges	403	3,2	1,7	5,5	0,0	0,0	0,9	3,2	1,7	5,5
Wannsee	Ny	199	13,6	9,1	19,1	5,0	2,4	9,0	0,0	0,0	1,8
	Ad	174	31,6	24,8	39,1	20,7	14,9	27,5	0,0	0,0	2,1
	Ges	373	22,0	17,9	26,5	12,3	9,2	16,1	0,0	0,0	1,0

Genospezies: **Ba:** *B. afzelii*, **Bs:** *B. spielmanii*, **Bb:** *B. burgdorferi* s.s.

Tabelle 43: Borrelien-Prävalenz für *B. garinii*, *B. valaisiana* und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 zusammen betrachtet

Standort	Stadium	n uts	untersuchte <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]					
			Bg	95% Konfidenzintervall		Bv	95% Konfidenzintervall	
				unteres	oberes		unteres	oberes
Gatow	Ny	239	5,4	2,9	9,1	1,7	0,5	4,2
	Ad	201	6,5	3,5	10,8	3,5	1,4	7,0
	Ges	440	5,9	3,9	8,5	2,5	1,3	4,4
Tegel	Ny	204	5,9	3,1	10,0	5,9	3,1	10,0
	Ad	199	14,6	10,0	20,3	8,0	4,7	12,7
	Ges	403	10,2	7,4	13,5	6,9	4,7	9,9
Wannsee	Ny	199	1,5	0,3	4,3	4,0	1,8	7,8
	Ad	174	2,3	0,6	5,8	2,9	0,9	6,6
	Ges	373	1,9	0,8	3,8	3,5	1,9	5,9

Genospezies: Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*

Tabelle 44: Borrelien-Prävalenz ( $P$ ,  $P_{hp}$ , *B. miyamotoi*) und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

Standort	Jahr	Stadium	n uts	P_Lyme -inf [%]	95% Konfidenzintervall		P_hp [%]	95% Konfidenzintervall		Bm [%]	95% Konfidenzintervall	
					unteres	oberes		unteres	oberes		unteres	oberes
					Gatow	2010		Ny	122		23,8	16,5
		Ad	101	31,7	22,8	41,7	29,7	21,0	39,6	1,0	0,0	5,4
		Ges	223	27,4	21,6	33,7	24,7	19,2	30,9	0,9	0,1	3,2
	2011	Ny	117	25,6	18,0	34,5	25,6	18,0	34,5	1,7	0,2	6,0
		Ad	100	34,0	24,8	44,2	29,0	20,4	38,9	6,0	2,2	12,6
		Ges	217	29,5	23,5	36,0	27,2	21,4	33,6	3,7	1,6	7,1
	2010	Ny	104	17,3	10,6	26,0	8,7	4,0	15,8	1,9	0,2	6,8
		Ad	99	27,3	18,8	37,1	15,2	8,7	23,8	3,0	0,6	8,6
		Ges	203	22,2	16,7	28,5	11,8	7,7	17,1	2,5	0,8	5,7
	2011	Ny	100	12,0	6,4	20,0	9,0	4,2	16,4	1,0	0,0	5,4
		Ad	100	38,0	28,5	48,3	34,0	24,8	44,2	1,0	0,0	5,4
		Ges	200	25,0	19,2	31,6	21,5	16,0	27,8	1,0	0,1	3,6
	2010	Ny	99	28,3	19,7	38,2	20,2	12,8	29,5	0,0	0,0	3,7
		Ad	102	61,8	51,6	71,2	56,9	46,7	66,6	0,0	0,0	3,6
		Ges	201	45,3	38,3	52,4	38,8	32,0	45,9	0,0	0,0	1,8
	2011	Ny	100	20,0	12,7	29,2	20,0	12,7	29,2	5,0	1,6	11,3
		Ad	72	51,4	39,3	63,4	51,4	39,3	63,4	1,4	0,0	7,5
		Ges	172	33,1	26,2	40,7	33,1	26,2	40,7	3,5	1,3	7,4

P\_Lyme-inf: Gesamtprävalenz von *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*, *B. valaisiana* (ohne *B. miyamotoi*), P\_hp: Prävalenz humanpathogener Lyme-Borrelien (*B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s., *B. garinii*), Bm: *B. miyamotoi*, uts: untersucht, hp: humanpathogen, inf: infiziert

Tabelle 45: Borrelien-Prävalenz für *B. afzelii*, *B. spielmanii*, *B. burgdorferi* s.s. und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

Standort	Jahr	Stadium	n uts	untersuchte <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]								
				Ba	95% Konfidenzintervall		Bs	95% Konfidenz- intervall		Bb	95% Konfidenzintervall	
					unteres	oberes		unteres	oberes		unteres	oberes
Gatow	2010	Ny	122	13,9	8,3	21,4	0,0	0,0	3,0	1,6	0,2	5,8
		Ad	101	14,9	8,6	23,3	0,0	0,0	3,6	5,0	1,6	11,2
		Ges	223	14,3	10,0	19,6	0,0	0,0	1,6	3,1	1,3	6,4
	2011	Ny	117	18,8	12,2	27,1	0,0	0,0	3,1	0,9	0,0	4,7
		Ad	100	16,0	9,4	24,7	0,0	0,0	3,6	10,0	4,9	17,6
		Ges	217	17,5	12,7	23,2	0,0	0,0	1,7	5,1	2,6	8,9
Tegel	2010	Ny	104	0,0	0,0	3,5	0,0	0,0	3,5	1,9	0,2	6,8
		Ad	99	1,0	0,0	5,5	0,0	0,0	3,7	3,0	0,6	8,6
		Ges	203	0,5	0,0	2,7	0,0	0,0	1,8	2,5	0,8	5,7
	2011	Ny	100	1,0	0,0	5,4	0,0	0,0	3,6	3,0	0,6	8,5
		Ad	100	11,0	5,6	18,8	0,0	0,0	3,6	5,0	1,6	11,3
		Ges	200	6,0	3,1	10,2	0,0	0,0	1,8	4,0	1,7	7,7
Wannsee	2010	Ny	99	8,1	3,6	15,3	10,1	5,0	17,8	0,0	0,0	3,7
		Ad	102	29,4	20,8	39,3	24,5	16,5	34,0	0,0	0,0	3,6
		Ges	201	18,9	13,7	25,0	17,4	12,4	23,4	0,0	0,0	1,8
	2011	Ny	100	19,0	11,8	28,1	0,0	0,0	3,6	0,0	0,0	3,6
		Ad	72	34,7	23,9	46,9	15,3	7,9	25,7	0,0	0,0	5,0
		Ges	172	25,6	19,2	32,8	6,4	3,2	11,2	0,0	0,0	2,1

Genospezies: Ba: *B. afzelii*, Bs: *B. spielmanii*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.

Tabelle 46: Borrelien-Prävalenz für *B. garinii*, *B. valaisiana* und zugehörige Konfidenzintervalle in wirtssuchenden *I. ricinus* für Gatow, Tegel, Wannsee, für 2010 und 2011 getrennt betrachtet

Standort	Jahr	Stadium	n uts	untersuchte <i>I. ricinus</i> infiziert mit Lyme-Borrelien [%]					
				Bg	95% Konfidenzintervall		Bv	95% Konfidenzintervall	
					unteres	oberes		unteres	oberes
Gatow	2010	Ny	122	4,9	1,8	10,4	3,3	0,9	8,2
		Ad	101	9,9	4,9	17,5	2,0	0,2	7,0
		Ges	223	7,2	4,2	11,4	2,7	1,0	5,8
	2011	Ny	117	6,0	2,4	11,9	0,0	0,0	3,1
		Ad	100	3,0	0,6	8,5	5,0	1,6	11,3
		Ges	217	4,6	2,2	8,3	2,3	0,8	5,3
Tegel	2010	Ny	104	6,7	2,7	13,4	8,7	4,0	15,8
		Ad	99	11,1	5,7	19,0	12,1	6,4	20,2
		Ges	203	8,9	5,3	13,7	10,3	6,5	15,4
	2011	Ny	100	5,0	1,6	11,3	3,0	0,6	8,5
		Ad	100	18,0	11,0	26,9	4,0	1,1	9,9
		Ges	200	11,5	7,4	16,8	3,5	1,4	7,1
Wannsee	2010	Ny	99	2,0	0,2	7,1	8,1	3,6	15,3
		Ad	102	2,9	0,6	8,4	4,9	1,6	11,1
		Ges	201	2,5	0,8	5,7	6,5	3,5	10,8
	2011	Ny	100	1,0	0,0	5,4	0,0	0,0	3,6
		Ad	72	1,4	0,0	7,5	0,0	0,0	5,0
		Ges	172	1,2	0,1	4,1	0,0	0,0	2,1

Genospezies: Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*

#### 8.4.2 Gesamtprävalenzvergleich mit Fisher-Exact-Test

Tabelle 47: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Gesamtprävalenz (P) in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen den verschiedenen Standorten ohne Bm (3.7.2)

Stadien	Standortvergleich		
	GA vs. WD	WD vs. TF	GA vs. TF
<b>Nymphen 2010</b>	ns (0,5365)	ns (0,2017)	ns (0,5067)
<b>Nymphen 2011</b>	ns (0,3527)	ns (0,3527)	* (0,0457)
<b>Nymphen 2010 + 2011</b>	ns (0,9115)	* (0,0456)	* (0,0272)
<b>Adulte 2010</b>	*** (0,0000)	*** (0,0000)	ns (0,5370)
<b>Adulte 2011</b>	ns (0,0840)	ns (0,1771)	ns (0,6587)
<b>Adulte 2010 + 2011</b>	*** (0,0000)	** (0,0000)	ns (1)
<b>Nymphen + Adulte 2010</b>	*** (0,0003)	*** (0,0000)	ns (0,2199)
<b>Nymphen + Adulte 2011</b>	ns (0,6472)	ns (0,2594)	ns (0,6472)
<b>Nymphen + Adulte 2010 + 2011</b>	** (0,0026)	*** (0,0000)	ns (0,1168)

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,1$ ); (\*) - schwach signifikant ( $p = 0,1 - 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

Tabelle 48: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Gesamtprävalenz (P) in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen Teilgebieten im Standort ohne *Bm* (3.7.2)

Stadien	Gebietsvergleich im Standort			
	GA: N vs. MM	TF: N vs. MM	TF: H vs. W	WD: V vs. W
Nymphen 2010	ns	ns	ns	ns
Nymphen 2011	ns	ns	ns	ns
Nymphen 2010 + 2011	ns	ns	ns	ns
Adulte 2010	ns	ns	ns	ns
Adulte 2011	ns	ns	ns	ns
Adulte 2010 + 2011	ns	ns	ns	ns

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; N: Nano Bereich, MM: Mikro- und Makro-Bereich, V: „Viel“ - Transekte mit relativen Zeckenanteilen über 10%, W: „Wenig“ - Transekte mit relativen Zeckenanteilen unter 10%; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ )

#### 8.4.3 Vergleich Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) mit Fisher-Exact-Test

Tabelle 49: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede in der Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen den verschiedenen Standorten ohne *Bm* (3.7.4)

Stadien	Standortvergleich		
	GA vs. WD	WD vs. TF	GA vs. TF
Nymphen 2010	ns (1,00)	ns (0,0521)	* (0,0446)
Nymphen 2011	ns (0,35)	ns (0,0901)	** (0,0069)
Nymphen 2010 + 2011	ns (0,49)	** (0,0034)	*** (0,0002)
Adulte 2010	*** (0,0002)	*** (0,0000)	* (0,0174)
Adulte 2011	** (0,0051)	ns (0,058)	ns (0,3659)
Adulte 2010 + 2011	*** (0,0000)	*** (0,0000)	ns (0,3702)

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); \* - signifikant ( $p < 0,05$ ); \*\* - hoch signifikant ( $p < 0,01$ ); \*\*\* - höchst signifikant ( $p < 0,001$ )

Tabelle 50: Ergebnisse Fisher-Exact-Tests – Unterschiede der Prävalenz mit humanpathogenen Lyme-Borrelien ( $P_{hp}$ ) in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen Teilgebieten im Standort ohne *Bm* (3.7.4)

Stadien	Gebietsvergleich			
	GA: N vs. MM	TF: N vs. MM	TF: H vs. W	WD: V vs. W
Nymphen 2010	ns	ns	ns	ns
Nymphen 2011	ns	ns	ns	ns
Nymphen 2010 + 2011	ns	ns	ns	ns
Adulte 2010	ns	ns	ns	ns
Adulte 2011	ns	ns	ns	ns
Adulte 2010 + 2011	ns	ns	ns	ns

GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; N: Nano Bereich, MM: Mikro- und Makro-Bereich, V: „Viel“ - Transekte mit relativen Zeckenanteilen über 10%, W: „Wenig“ - Transekte mit relativen Zeckenanteilen unter 10%; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ )

## 8.5 Testergebnisse Genospeziesverteilung

### 8.5.1 Genospeziesverteilung im Standort und zwischen den Standorten

Tabelle 51: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum Genospeziesvergleich in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen den Standorten (Standortvergleich untereinander) 2010+2011 (3.7.3)

		GS	GA vs. WD	WD vs. TF	GA vs. TF
Stadium 2010 + 2011	Nymphen	Bs	0,0011	0,0231	ns
		Ba	ns	0,0000	0,0000
		Bg	ns	0,0031	ns
		Bv	ns	0,0650	0,0012
		Bb	ns	0,0231	ns
	Adulte	Bs	0,0000	0,0000	ns
		Ba	ns	0,0000	0,0044
		Bg	0,0061	0,0000	0,0137
		Bv	ns	0,0013	ns
		Bb	0,0000	0,0013	ns

GS: Genospezies: Bs: *B. spielmanii*, Ba: *B. afzelii*, Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.; GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); signifikant:  $p < 0,05$ ; hoch signifikant:  $p < 0,01$ ; höchst signifikant:  $p < 0,001$

Tabelle 52: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum Genospeziesvergleich in wirtssuchenden *I. ricinus* zwischen den Standorten (Standortvergleich untereinander) im Jahr 2010, 2011 (3.7.3)

		2010			2011				
		GS	GA vs. WD	WD vs. TF	GA vs. TF	GS	GA vs. WD	WD vs. TF	GA vs. TF
Stadium	Nymphen	Bs	0,0018	0,0214	ns	Bs	ns	ns	ns
		Ba	ns	ns	0,0001	Ba	ns	0,0000	0,0017
		Bg	ns	ns	ns	Bg	ns	ns	ns
		Bv	ns	ns	ns	Bv	ns	ns	ns
		Bb	ns	ns	ns	Bb	ns	ns	ns
	Adulte	Bs	0,0000	0,0001	ns	Bs	0,0022	0,0009	ns
		Ba	ns	0,0001	0,0014	Ba	ns	0,0047	ns
		Bg	0,0041	0,0002	ns	Bg	ns	0,0000	0,0032
		Bv	ns	0,0004	0,0037	Bv	ns	ns	ns
		Bb	0,0139	0,0498	ns	Bb	0,0017	ns	ns

GS: Genospezies: Bs: *B. spielmanii*, Ba: *B. afzelii*, Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.; GA: Gatow, TF: Tegel, WD: Wannsee; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); signifikant:  $p < 0,05$ ; hoch signifikant:  $p < 0,01$ ; höchst signifikant:  $p < 0,001$

Tabelle 53: Gatow: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden *I. ricinus* mit pairwise.fisher.test() – ohne Bm (3.7.3)

		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010</b>	<b>Ba</b>	0,0000	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0102	ns	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	0,0098	ns	ns		<b>Bv</b>	ns	0,0057	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	0,0006	ns	ns		<b>Bb</b>	ns	ns	ns	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2011</b>	<b>Ba</b>	0,0000	ns			ns	ns	<b>Adulte 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	0,0025	ns	ns		<b>Bg</b>	ns	0,0110	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bv</b>	ns	ns	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bb</b>	0,0110	ns	ns	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>	0,0000	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	0,0012	0,0000	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0013	0,0123	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bv</b>	ns	0,0001	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bb</b>	0,0003	0,0409	ns	ns

Bs: *B. spielmanii*, Ba: *B. afzelii*, Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); signifikant:  $p < 0,05$ ; hoch signifikant:  $p < 0,01$ ; höchst signifikant:  $p < 0,001$

Tabelle 54: Tegel: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden *I. ricinus* mit pairwise.fisher.test() – ohne Bm (3.7.3)

		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010</b>	<b>Ba</b>	ns	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0035	0,0215	ns	ns
	<b>Bv</b>	0,0150	0,0150	ns	ns		<b>Bv</b>	0,0015	0,0097	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bb</b>	ns	ns	ns	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2011</b>	<b>Ba</b>	ns	ns			ns	ns	<b>Adulte 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0000	ns	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bv</b>	ns	ns	0,0085	ns
	<b>Bb</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bb</b>	ns	ns	0,0232	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>	ns	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	0,0019	0,0116	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0000	0,0185	ns	ns
	<b>Bv</b>	0,0019	0,0116	ns	ns		<b>Bv</b>	0,0001	ns	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bb</b>	0,0435	ns	0,0008	ns

Bs: *B. spielmanii*, Ba: *B. afzelii*, Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); signifikant:  $p < 0,05$ ; hoch signifikant:  $p < 0,01$ ; höchst signifikant:  $p < 0,001$

Tabelle 55: Wannsee: Testergebnisse Fisher-Exact-Test zum internen Standortvergleich der Genospezies in wirtssuchenden *I. ricinus* mit pairwise.fisher.test() – ohne Bm (3.7.3)

		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010</b>	<b>Ba</b>	ns	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0000	0,0000	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	ns	ns	ns		<b>Bv</b>	0,0004	0,0000	ns	ns
	<b>Bb</b>	0,0110	ns	ns	ns		<b>Bb</b>	0,0000	0,0000	ns	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2011</b>	<b>Ba</b>	0,0000	ns			ns	ns	<b>Adulte 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0214	0,0000	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bv</b>	0,0045	0,0000	ns	ns
	<b>Bb</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bb</b>	0,0045	0,0000	ns	ns
		Bs	Ba	Bg	Bv			Bs	Ba	Bg	Bv
		<b>Nymphen 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>	0,0076	ns			ns	ns	<b>Adulte 2010 + 2011</b>	<b>Ba</b>
	<b>Bg</b>	ns	0,0000	ns	ns		<b>Bg</b>	0,0000	0,0000	ns	ns
	<b>Bv</b>	ns	0,0012	ns	ns		<b>Bv</b>	0,0000	0,0000	ns	ns
	<b>Bb</b>	0,0116	0,0000	ns	0,0455		<b>Bb</b>	0,0000	0,0000	ns	ns

Bs: *B. spielmanii*, Ba: *B. afzelii*, Bg: *B. garinii*, Bv: *B. valaisiana*, Bb: *B. burgdorferi* s.s.; Test: Fisher-Exact-Test; ns - nicht signifikant ( $p > 0,05$ ); signifikant:  $p < 0,05$ ; hoch signifikant:  $p < 0,01$ ; höchst signifikant:  $p < 0,001$

## Publikationsverzeichnis

### Schriftliche Publikationen

Richter, D.; Debski, A.; Hubalek, Z.; Matuschka, F.-R. (2012): Absence of Lyme disease spirochetes in larval *Ixodes ricinus* ticks. In: *Vector borne and Zoonotic Diseases* 12 (1), DOI: 10.1089/vbz.2011.0668.

Debski, A. (2015): Public Health: Optimierung des Dialogs zwischen Forschung und Anwendung im Bereich der Zoonosen – Bedarfsanalyse und Kommunikationsstrategie. Masterarbeit. Online verfügbar unter: [www.academia.edu/15814399](http://www.academia.edu/15814399) oder [www.researchgate.net/publication/283288202](http://www.researchgate.net/publication/283288202)

Debski, A. (2017): Auszug aus dem Teilreport für Studienteilnehmer zu den Interviews Geldwäscheprävention – Bitkom Projekt IT-gestützte Compliance. Hrsg.: Quadriga-Institut für Regulation & Management – QIRM. Online verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Sonstiges/170810-TR-Geldwaeschepraevention-Zusammenfassung.pdf>

Debski, A. (2017): Auszug aus dem Teilreport für Studienteilnehmer zu den Interviews zum Onboarding von Geschäftskunden Bitkom Projekt IT-gestützte Compliance. Hrsg.: Quadriga-Institut für Regulation & Management – QIRM. Online verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Sonstiges/170810-TR-Onboarding-Geschaeftskunden-Zusammenfassung.pdf>

Debski, A. (2017): Auszug aus dem Teilreport für Studienteilnehmer zu den Interviews zum Onboarding von Privatkunden – Bitkom Projekt IT-gestützte Compliance. Hrsg.: Quadriga-Institut für Regulation & Management – QIRM. Online verfügbar unter: <https://www.bitkom.org/noindex/Publikationen/2017/Sonstiges/170810-TR-Onboarding-Privatkunden-Zusammenfassung.pdf>

Debski, A. (2017): Teilreport für Studienteilnehmer zu den Interviews zu sonstige strafbare Handlungen – Bitkom Projekt IT-gestützte Compliance. Hrsg.: Quadriga-Institut für Regulation & Management – QIRM.

Sandkuhl, K.; Herzog, H.; Timm, F.; Stephan, G.; Debski, A. (2018): Eine Referenz für die Compliance-Organisation – Referenzmodell zur IT-gestützten Realisierung von Compliance in der Finanzindustrie. In: *Zeitschrift für Risk, Fraud & Compliance (ZRFC)* 18 (1)

## **Vorträge und Poster**

Richter, D.; Kohn, C.; Debski, A.; Piefel, M.; Müller, K.; Matuschka, F.-R. (2011): Microclimatic conditions in urban and periurban tick habitats European Conference on Applications of Meteorology (EMS), Berlin, Germany

Debski, A.; Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2016): Ticks and the City. Presentationa at: National Symposium on Zoonoses Research 2016, Berlin, Germany

Debski, A.; Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2017): Ticks and the City. Poster at: National Symposium on Zoonoses Research 2017, Berlin, Germany

Debski, A.; Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2017): Interdisciplinary Communication in the Zoonoses Research Community in Germany. Presentation at: National Symposium on Zoonoses Research 2017, Berlin, Germany

Debski, A.; Richter, D.; Matuschka, F.-R. (2017): Ticks and the City. Poster at JSZM 2017 (Junior Scientists Zoonoses Meeting), Langen, Hessen

Debski, A. (2017): Interdisziplinäre Kommunikation in der Zoonosenforschung. Presentation at JSZM 2017 (Junior Scientists Zoonoses Meeting), Langen, Hessen

## Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei allen bedanken, die mich bei der Durchführung dieser Dissertation unterstützt haben.

Mein außerordentlicher Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dr. Franz-Rainer Matuschka und Frau Dr. Dania Richter für die Bereitstellung des interessanten und komplexen Themas, den großen Freiraum bei dessen Bearbeitung und die ausgezeichneten Arbeitsmöglichkeiten im Labor. Insbesondere bedanke ich mich herzlich bei Frau Dr. Dania Richter für die konsequente, stets motivierende Unterstützung in allen theoretischen und praktischen Fragen sowie der Durchsicht des Manuskripts.

Herrn Univ.-Prof. Dr. Georg von Samson-Himmelstjerna danke ich für die Vertretung dieser Arbeit am Fachbereich Veterinärmedizin der Freien Universität Berlin.

Ganz besonders gilt mein Dank der Bundeswehr beim Kommando der Luftwaffe für die Erlaubnis, auf dem Gelände der General-Steinhoff-Kaserne drei Jahre lang die Felduntersuchungen durchzuführen. Ebenso danke ich allen Mitarbeitern am Forstamt Tegel für die Möglichkeit, auf dem Amtsgelände die Untersuchungen durchzuführen, sowie für die stets netten Gespräche, Kaffee und Kekse. Ich danke ebenso herzlich Herrn Gerhard Dieck für seine Erlaubnis, auf seinem Grundstück Zecken zu sammeln, und bin dankbar für die Freundschaft, die aus dieser Zusammenarbeit erwachsen ist.

Außerdem bedanke ich mich bei den Mitarbeitern unserer ehemaligen Abteilung Andrea Schäfer, Mandy Pötter, Udo Bischoff und Christina Kohn für die freundschaftliche, unkomplizierte Zusammenarbeit und stets freundliche Arbeitsatmosphäre. Es war mir eine Freude, die Werkbank mit euch zu teilen. Christina, dir danke ich nicht nur für die wundervolle Zusammenarbeit, sondern auch für die daraus erwachsene Freundschaft.

Für die finanzielle Förderung der Arbeit danke ich der Freien Universität Berlin, die im Rahmen der Exzellenzinitiative dieses Projekt und seine Umsetzung möglich gemacht hat.

Papa, dir danke ich für die Ruhe, die du mir schenkst, und deine Unterstützung auf allen Ebenen.

Meine Freunde, euch danke ich für den Reichtum eurer Persönlichkeiten, die Gespräche und die Ablenkung. Und ich danke der Tango-Argentino-Gemeinschaft in Berlin für die schönen Tänze, Musik und abwechslungsreichen Orte.

## **Selbständigkeitserklärung**

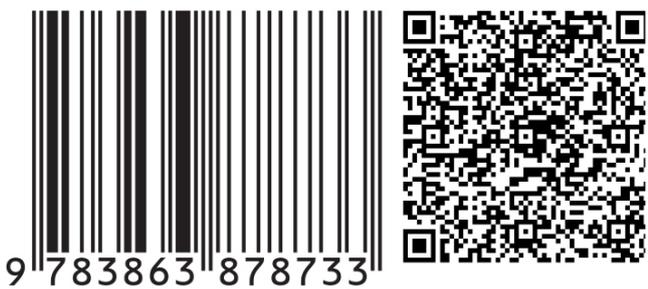
Hiermit bestätige ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig angefertigt habe. Ich versichere, dass ich ausschließlich die angegebenen Quellen und Hilfen in Anspruch genommen habe.

Berlin, 06.12.2017

Alina Debski







9 783863 878733  
**mbv**berlin | mensch und buch verlag

49,90 Euro | ISBN: 978-3-86387-873-3