

Umweltforschung in Baden-Württemberg

Abschlussbericht

Literaturrecherche zum Thema Zecken und zeckenübertragene Krankheiten in Baden-Württemberg – Stand des Wissens

T.N. Petney, M. Pfäffle, J. Skuballa, H. Taraschewski
Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Abteilung Ökologie and Parasitologie

Förderkennzeichen: L75 29006

Laufzeit: 1.7.2009 – 31.8.2010

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Oktober 2011

Titel	1
Inhalt	2
Zusammenfassung	4
Eine gut untersuchte Modellzecke: <i>Ixodes scapularis</i>	5
1. Vorwort zu Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten in Baden-Württemberg	10
2. Grundlagen	14
2.1. Biologie der Zecken	14
2.2. Epidemiologie von zeckenübertragenen Pathogenen	16
3. Pathogen-Zecken-Wirt-Systeme	18
3.1. Ökologie der Pathogene	18
3.1.1. Übertragungsdynamiken	19
3.1.2. Klimatische und landschaftliche Veränderungen	20
3.2. Interaktion zwischen Pathogen und Zecke	20
3.3. Ökologie der medizinisch wichtigen Zecken in Deutschland	22
3.3.1. Überleben und Entwicklung abseits des Wirtes	22
3.3.2. Verbreitung	23
3.3.3. Natürliche Bewegung und Wirtsfindung	27
3.3.4. Populationsdynamiken	29
3.3.5. Interspezifische Interaktionen	31
3.3.6. Modelle zur Zeckenverteilung in der Landschaft	32
3.4. Zecken-Wirt-Interaktionen	33
3.4.1. Wirtswahl	33
3.4.2. Wirtsfindung	34
3.4.3. Wirtsimmunität	34
3.4.4. Immunosuppression	35
3.4.5. Mortalität und Morbidität	36
3.5. Ökologie der Wirte	36
3.6. Pathogen-Zecken-Wirt-Interaktionen	40
3.7. Bezug zum Menschen	42
3.7.1. Haustierbesitzer (Hunde, Tauben))	43
3.7.2. Vorsichtsmaßnahmen (Geruch, Kleidung, Farbe)	44
3.7.3. Repellents	44
4. Bekämpfung von Zecken	46

5.	Abschluss	50
6.	Empfehlungen für zukünftige Arbeiten	51
7.	Danksagung	52
8.	Literatur	53
9.	Glossar	73
10.	Anhang 1: Häufig vorkommende zeckenübertragene Krankheiten mit humanpathogene Potential in Baden-Württemberg	76
11.	Anhang 2: Ökologie der Arten <i>Dermacentor marginatus</i>, <i>D. reticulatus</i> und <i>Rhipicephalus sanguineus</i>	90

Zusammenfassung

Zecken sind die wichtigsten **Vektoren**¹ human- und veterinärmedizinisch relevanter Krankheitserreger in Europa. Es gibt seit einiger Zeit Indizien dafür, dass die Verbreitung und Dichte der Populationen einiger medizinisch und ökonomisch wichtiger Zeckenspezies in Mitteleuropa zunimmt. Die Gründe dieses Wandels werden kontrovers diskutiert. Sie beruhen offenbar auf Faktoren, wie Klimawandel, der geänderten Landschaftsnutzung als auch auf menschlichen Verhaltensänderungen. Von Studien aus Nordamerika wissen wir jedoch, dass den Populationen der Vertebraten-**Wirte** eine große Rolle in der Dynamik der Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten zukommt, d.h., dass das Pathogen-Zecke-Wirt-System als Einheit betrachtet werden muss. Auch in Europa scheint es dementsprechend nicht möglich zu sein, ohne Informationen, insbesondere über Nagetiere, Veränderungen in der Abundanz und Ausbreitung von Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten des Menschen darzustellen. Gleiches gilt für die Entwicklung und Einführung effektiver Präventions- und Kontrollstrategien. Obwohl in den letzten Jahrzehnten sehr viel über Zecken in Europa publiziert wurde, gibt es bislang keine gut konzipierte Langzeitstudie, in der die Beziehung zwischen der Populationsdynamik der Vertebraten-Wirte von Zecken, den Zecken selbst und den von ihnen übertragenen Pathogenen zufriedenstellend dokumentiert wird. In diesem Text wird aufgezeigt, welche grundlegenden Informationen uns zum Verständnis der Ökologie der in Mitteleuropa vorkommenden Zecken, ihren Wirten und den von ihnen übertragenen Pathogenen fehlen. Unter Zuhilfenahme von Daten aus anderen Regionen wird dann ein Modell dazu entwickelt, welche Studien nötig wären, um die Lücken zu schließen.

¹ Die Bedeutung von Wörtern, die fett gedruckt sind, ist im Glossar erklärt.

Eine gut untersuchte Modellzecke: *Ixodes scapularis*

Poggensee et al. (2008) veröffentlichten einen Bericht über “*Lyme-Borreliose: Forschungsbedarf und Forschungsansätze*“. Ihre Untersuchungsempfehlungen beinhalteten zahlreiche diagnostische, immunologische, epidemiologische, klinische und ökologische Aspekte. Die Autoren ließen jedoch einen wichtigen Punkt außer Acht, der mit der Wahrscheinlichkeit von menschlichen Infektionen mit *Borrelia burgdorferi sensu lato* (s.l.) und anderen Pathogenen zusammenhängt: die Einwirkung der Dynamik der Wirtstierpopulationen (siehe Zitate von Randolph 1998 und Reiter 2008, Seite 2). Am Beispiel von *Ixodes scapularis* lässt sich erkennen, welche Untersuchungen notwendig sind, um die Dynamiken von zeckenübertragenen Krankheiten auch in Baden-Württemberg zu verstehen.

I. scapularis ist eine der häufigsten Zeckenarten in den östlichen USA und Kanada und fungiert dort als Vektor für *Borrelia burgdorferi sensu stricto*, der wichtigsten humanpathogenen *Borrelia*-Art in Nordamerika, bekannt (Spielman et al. 1985). Außerdem ist sie eine der best untersuchten Zeckenarten weltweit, die viel Aufmerksamkeit auf sich gezogen hat, seit sie als Lyme-Borreliose-Vektor bekannt wurde. Eine Arbeitsgruppe beschäftigt sich mit der Epidemiologie dieser Art, Wirte und *B. burgdorferi* s.s. mit einbezogen, seit Mitte der 1990iger Jahre (Ostfeld et al. 1996, 2001, 2006).

I. scapularis ist nahe mit dem europäischen Holzbock *I. ricinus* verwandt und weist einen ähnlichen Entwicklungszyklus auf (Abb. 1).

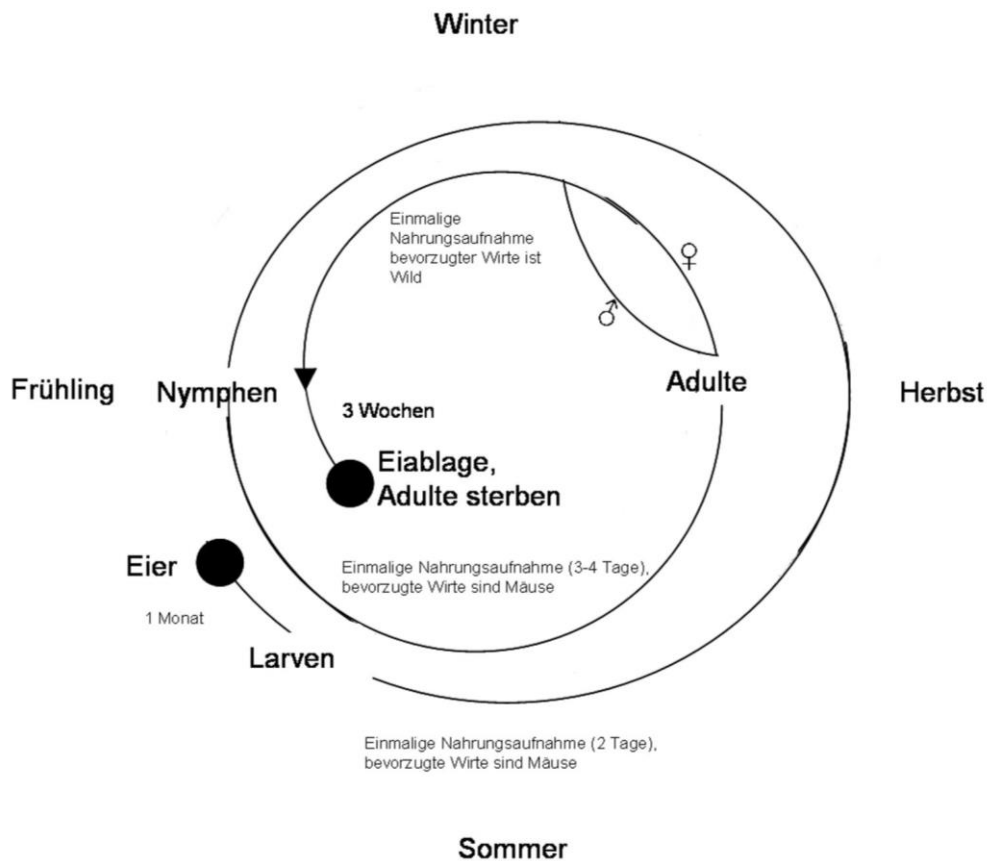


Abb. 1. Entwicklungszyklus von *I. scapularis* (= *I. dammini*).

I. scapularis tritt hauptsächlich im östlichen Teil der USA auf, da Witterungseinflüsse wie Temperatur und Luftfeuchtigkeit ihre Ausbreitung stark einschränken (Lindsay et al. 1995, Bertrand und Wilson 1996). Aus einer Studie von Brownstein et al. (2003) geht hervor, dass sich die Verbreitung von *I. scapularis*, basierend auf Höchst-, Tiefst-, Durchschnittstemperaturen und Luftfeuchtigkeit, zu 95% vorhersagen lässt. Allerdings kann dieses Model nicht im großen Maßstab angewandt werden, da es zu wenig Gebiete gibt, über die ausreichend Informationen über die betreffenden Parameter vorhanden sind. Letztlich konnten die Autoren, mit Hilfe existierender klimatischer Daten und Informationen über den Klimawandel das bestehende Model erweitern und somit die Ausbreitung von *I. scapularis* in nördlichere Gebiete, vor allem Kanada (unterstützt durch ein unabhängiges Model von Ogden et al. 2005) und die mittlerer USA, sowie den Rückgang der Zecke im Südosten der USA, vorhersagen (Brownstein et al. 2005). Dieses Model kann aber nicht dazu verwendet werden, Prognosen über jährliche Veränderungen aufzustellen.

Unter geeigneten klimatischen Bedingungen, scheint die lokale Verbreitung der Zecken von den vorhandenen Wirten abzuhängen. Ostfeld und Kollegen (Ostfeld et al. 1996, Jones et al. 1998, Ostfeld et al. 2001) zeigten, dass Nymphen von *I. scapularis*, dem **Entwicklungsstadium**, das am häufigste Borrelien auf den Menschen überträgt (Tsao et al. 2004), in klimatisch normalen Jahren nicht direkt vom Klima abhängig ist, aber direkt von der Anzahl an Eicheln, die von lokalen Eichenpopulationen 1,75 Jahre vorher produziert wurden. Eicheln sind die Hauptnahrungsquelle von Nagern (hauptsächlich *Peromyscus leucopus*), die bei einem großen Vorkommen (**Mastjahr**), viele für Krankheitserreger **empfindliche** Nachkommen produzieren können (Abb. 2). Die hohe Populationsdichte empfindlicher Wirte erhöht die Wahrscheinlichkeit, dass Zecken einen Wirt finden und dass dieser Wirt mit *B. burgdorferi* s.l. infiziert ist. Dies wiederum erhöht die Dichte infizierter Zecken und damit die Wahrscheinlichkeit, dass Menschen ebenfalls angesteckt werden. In Jahren, die vom Klima her extrem sind, beispielsweise in Dürrephasen, kann die Beziehung zwischen Eicheln und *B. burgdorferi* - Infektionsmustern verändert werden, da extreme klimatische Bedingungen die Überlebensrate von Wirten und Zecken senken (Schauber et al. 2005).

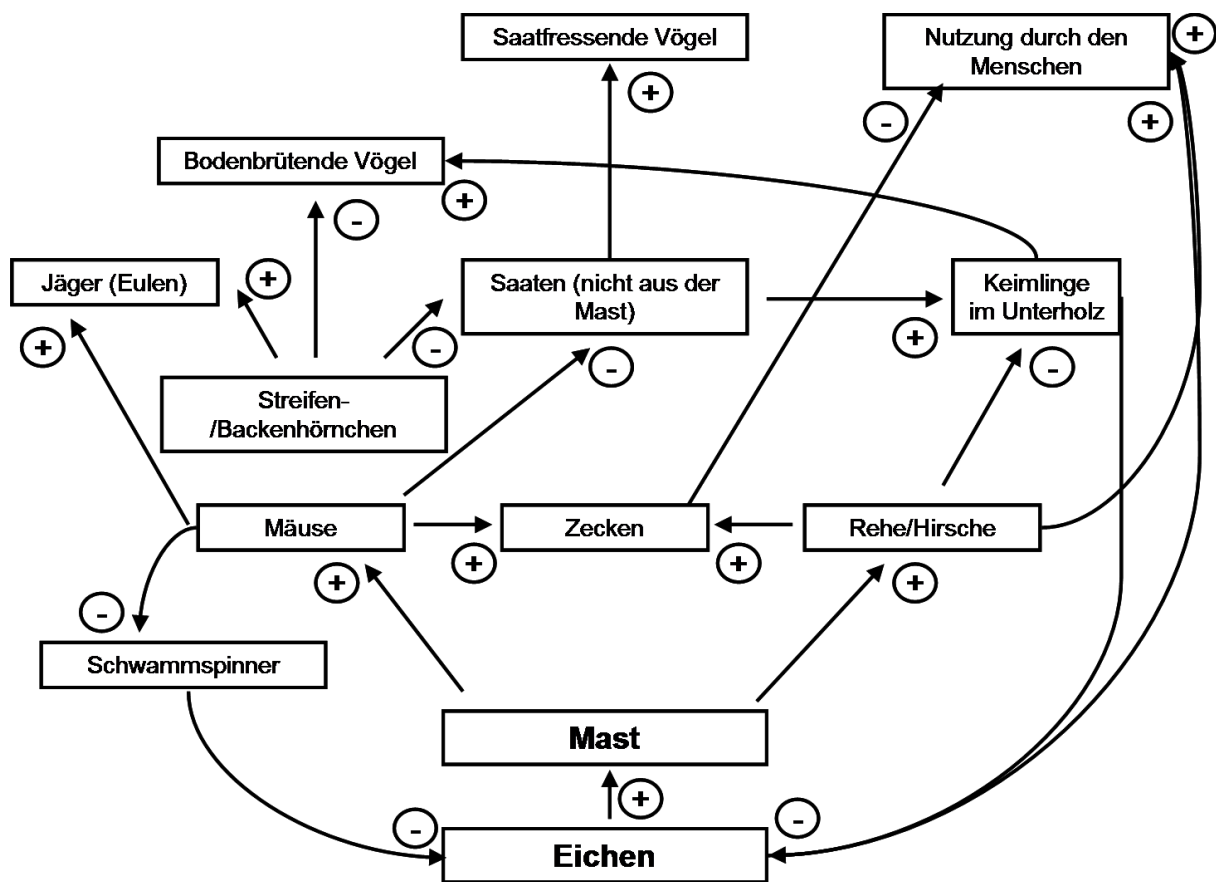


Abb.2. Das von Ostfeld und Kollegen verwendete Model zur Beziehung verschiedener Einflüsse in einem Eichenwald im Nordosten der USA. Ein Mastjahr führt zu einer erhöhten Anzahl von Zecken, was wiederum 1,75 Jahre später das Risiko des Menschen mit Borrelien infiziert zu werden, erhöht. (aus Ostfeld et al. 1996).

Schmidt und Ostfeld (2001) haben gezeigt, dass **unempfängliche** Wirte, z.B. Wirte, die nicht oder nur begrenzt für die Infektion und Übertragung eines Pathogens auf eine uninfizierte Zecke geeignet sind, das Vorkommen eines Pathogens innerhalb einer Zeckenpopulation und somit das Risiko der Krankheitsübertragung durch eine einzelne Zecke verringern. In dieser Studie wurde ein empirisches Model verwendet, das zeigte, dass 61% der Larven und 72% der Nymphen innerhalb des Untersuchungsgebiets in New York an unempfänglichen Wirten saugen. Natürlich sind solche Untersuchungen orts- und zeitabhängig, jedoch zeigt das Model, dass eine hohe Diversität an potentiellen Wirten zu einem geringeren Infektionsrisiko der Wirte führt. Bezieht man dies auf das Erkrankungsrisiko bei Menschen bedeutet das, dass Gebiete mit einer hohen Wirtdiversität geringere Pathogenprävalenzen aufzeigen, da mehr

Zecken an Wirten saugen, die unempfindlich für Infektionen sind (LoGiudice et al. 2003). So ist die Pathogenprävalenz in *I. scapularis* und bei Menschen niedriger in Gebieten, in denen Eichhörnchen, welche unempfindlich sind, vorkommen, als in solchen, in denen keine Eichhörnchen vorhanden sind. (Dobson et al. 2006). Dies wird als **Verdünnungseffekt** bezeichnet.

Der Verdünnungseffekt ist eng mit der jeweiligen Habitatstruktur verknüpft, vor allem wichtig in ländlichen Gebieten mit hohen Bevölkerungsdichten. Hier entstehen durch die starke **Habitatfragmentierung** aufgrund der hohen Straßen- und Siedlungsdichte keine großen, zusammenhängenden Flächen mit natürlicher Vegetation.

Es gibt drei Hypothesen, die den Einfluss von Landnutzung und deren Änderung auf die Epidemiologie der Borreliose in den USA behandeln:

1. Fragmentierte **Habitats** führen zu einer erhöhten Populationsdichte der Großwirte aufgrund der Effekte von Randhabitaten (**Ökotonen**), Strauchvegetation und Gras z.B dienen als Unterschlupf und Nahrung für Wildtiere, die als Wirte fungieren. Reduzierte Jagd durch die Nähe von menschlichen Siedlungen und Fehlen von Räubern charakterisieren diesen Lebensraum. Man nimmt an, dass solche Umstände zu einer Erhöhung der Zeckenabundanz führen. Die Dichte von empfänglichen (Nagetiere für Borreliose) und unempfindlichen (Weißwedelhirsch und Eichhörnchen für Borreliose) Wirten bestimmt das Infektionsrisiko (Barbour und Fish 1993, Frank et al. 1998, Brownstein et al. 2005, Dobson et al. 2006).
2. Diese Argumentation kann auch auf die Dichte kleinerer Säugetierarten, wie die Weißfußmaus, den Hauptwirt von Larven und Nymphen von *I. scapularis*, übertragen werden. Eine Ausweitung von Randhabitaten würde dementsprechend zu höheren Zeckendichten führen (Ostfeld und Keesing 2000, Schmidt und Ostfeld 2001, Brownstein et al. 2005).
3. Das Vordringen von menschlichen Siedlungen in semi-natürlichen und natürlichen Landschaften erhöht das Risiko des Kontakts (Übertragung) zwischen Vektor und Mensch. In den USA treten die meisten Infektionen in Wohngebieten auf (Falco und Fish 1988).

Am Beispiel von *I. scapularis* zeigt sich, dass es möglich ist, die geografische Verbreitung von verschiedenen Zeckenarten zu bestimmen und für die Zukunft vorherzusagen, in dem

man klimatische Parameter zur Hilfe nimmt. Im Weiteren wird deutlich, dass es notwendig ist, sowohl die Faktoren zu bestimmen, die die Wirtstierpopulationen regulieren als auch die Interaktionen zwischen Zecken, ihren Wirten und den Pathogenen zu erforschen. Dadurch können jährliche Änderungen der Zeckendichte und die Wahrscheinlichkeit von Krankheitsübertragungen verstanden und vorhergesehen werden.

1. Vorwort zu Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten in Baden-Württemberg

Zecken sind die wichtigsten Vektoren von auf Tiere übertragenen Krankheiten sowie die zweitwichtigsten Vektoren humanmedizinisch relevanter Erkrankungen weltweit. In den letzten Jahren hat sich die Zahl der uns bekannten zeckenübertragenen Pathogene bemerkenswert erhöht. Allein in Deutschland wurden in den letzten 15 Jahren mindestens acht humanpathogene oder potentiell humanrelevante Erreger aus den Bakteriengattungen *Borrelia*, *Rickettsia* und *Anaplasma* nachgewiesen (Süss und Schrader 2004, Süss et al. 2004). Die in Baden-Württemberg bekannten oder möglicherweise präsenten Krankheitserreger sind in Tabelle 1 aufgelistet.

Einige erst kürzlich entdeckten, aber offenbar weit verbreiteten Arten, wie beispielsweise die von der Auwaldzecke *Dermacentor reticulatus* übertragenen Candidatus *Rickettsia kotlanii* (*Rickettsia* RpA4, Sreter-Lancz et al. 2006) wurden bislang ökologisch/epidemiologisch kaum untersucht, und was über Jahre als *Borrelia burgdorferi sensu lato* bezeichnet wurde, entpuppt sich neuerdings als mindestens fünf separate Genospezies. Allein in Deutschland schätzt man die Zahl der jährlichen Neuerkrankungen an Borreliosen beim Menschen auf 60.000-100.000 (Fischer und Siegmund, 2007). Daten aus einigen deutschen Bundesländern weisen auf ein stetiges Anwachsen der Durchseuchung hin (Talaska 2002, Kampen et al. 2004).

Obwohl Borreliose im Anfangsstadium gut zu behandeln ist, kann sie in späteren Krankheitsstadien zu Karditis, Neuroborreliose und Arthritis führen (Hengge et al. 2003). Die Kosten, die durch *B. burgdorferi* s.l. Infektionen entstehen, variieren. Schnelle Diagnosen umfassen für gewöhnlich einen Besuch beim Hausarzt, einen Bluttest und bei einem positiven Befund eine Antibiotika-Therapie. Die Behandlung disseminierter Borreliose-Fälle wird dagegen auf 10.000 € / Fall geschätzt (Talaska 2002). Zeckenübertragene Krankheiten stellen demnach eine signifikante ökonomische Belastung für die Allgemeinheit dar.

Tabelle 1: In Baden-Württemberg nachgewiesene Krankheitserreger, die von Zecken der Familie **Ixodidae** übertragen werden können (verändert nach Faulde und Hoffmann 2001);

n.u.= nicht untersucht, fette Schrift= bevorzugter Wirt

Pathogen	In B-W nachgewiesen	Vektor	Reservoirwirt	Pathogenität	Quelle
FSME-Virus (Flaviviridae) Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)	ja	<i>Ixodes</i> spp. <i>Dermacentor</i> spp.	Nager, Insektenfresser	Fieberhafte Erkrankungen, Meningitis, Enzephalitis, Myelitis	Kozuch 1966, Schrader et al 1999, Süss et al 1999, Oehme et al. 2002, Maier et al. 2003, Alpers et al. 2004, Süss et al. 2004
Eyach-Virus (Coltivirusidae)	ja	<i>I. ricinus</i>	Möglicherweise Nager, Hasenartige	Fieber	Faulde und Hoffmann 2001, Hassler et al. 2003, Maier et al. 2003
Tettang-Virus (Iridoviridae)	ja	<i>I. ricinus</i>	Nager, Insektenfresser	Ähnlich einer FSME- Erkrankung	Faulde und Hoffmann 2001, Maier et al. 2003
Erve-Virus (Nairoviridae)	n.u.	<i>I. ricinus</i> , <i>I. hexagonus</i> , <i>D. marginatus</i>	Unter anderem <i>Apodemus sylvaticus</i> , <i>Crocidura russula</i> , <i>Talpa europaea</i>	Erve-Virus Fieber, neuropathologische Störungen	Faulde und Hoffmann 2001, Maier et al. 2004
Tribec-Virus (Reoviridae)	n.u.	<i>I. ricinus</i> , <i>Haemaphysalis punctata</i>	<i>Clethrionomys glareolus</i> <i>Pitymys subterraneus</i>	Neuropathologische Störungen	Faulde und Hoffmann 2001, Maier et al. 2003
Uukuniemi-Virus (Bunyaviridae)	n.u.	<i>I. ricinus</i>	Waldnager, Wasservogel	Enzephalitis, neuropathologische Störungen	Faulde und Hoffmann 2001, Maier et al. 2004
Lipovnik-Virus	n.u.	<i>I. ricinus</i> , <i>H. punctata</i> , <i>Rhipicephalus sanguineus</i>	Unbekannt	Meningoenzephalitis (?)	Faulde und Hoffmann 2001, Maier et al. 2003
<i>Rickettsia slovaca</i>	ja	<i>Ixodes ricinus</i> , <i>D. reticulatus</i> , <i>D. marginatus</i>	Nager, eventuell Hunde	Zeckenfleckfieber	Maier et al. 2003, Hartelt et al. 2008
<i>Rickettsia helvetica</i>	ja	<i>I. ricinus</i>	Unbekannt	Unbekannt	Hartelt et al. 2004, 2008, Maier et al. 2003
<i>Anaplasma phagocytophilum</i>	ja	<i>I. ricinus</i>	Wild, Nager, Pferde, Hunde, Rinder, Schafe,	Granulozytäre Anaplasmose, fiebrige Erkrankung beim Menschen und Tieren	Baumgarten et al.1999; Oehme et al. 2002; Hartelt et al. 2004; Leonhard 2005; Skuballa et al. 2010
<i>Ehrlichia canis</i>	n.u.	<i>R. sanguineus</i>	Canidae	Kanine monozytäre Ehrlichiose	Kuffer-Frank et al. 1999

Pathogen	In B-W nachgewiesen	Vektor	Reservoirwirt	Pathogenität	Quelle
<i>Borrelia burgdorferi sensu lato</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	Haustiere (Hunde, Katzen), Nutztiere (Pferde), Wildtiere (Nager, Vögel)	Multisystemerkrankung, vielfältige unspezifische Symptome Erythema migrans (lokale Hautinfektion) meist ZNS, Gelenke oder Myokard betroffen	Faulde und Hoffmann 2001, Baumgarten et al. 1999; Oehme et al. 2002, Leonhard 2005, Fingerle et al. 2008
<i>Borrelia burgdorferi sensu stricto</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	Haustiere (Hunde, Katzen), Nutztiere (Pferde), Wildtiere (Nager, Vögel)	s.o.	Oehme et al. 2002, Alpers et al. 2004, Leonhard 2005
<i>Borrelia afzelii</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	Haustiere (Hunde, Katzen), Nutztiere (Pferde), Wildtiere (Nager, Igel, Vögel)	s.o., <i>B. afzelii</i> oft mit Erythema migrans und Athriden verbunden	Wilske et al. 1996, Humair 1999, Oehme et al. 2002, Alpers et al. 2004, Leonhard 2005, Skuballa et al. 2007
<i>Borrelia valaisiana</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	Vögel	s.o.	Oehme et al. 2002, Leonhard 2005
<i>Borrelia garinii</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	Nager, OspA Typ 4, Damwild, Vögel OspA Typ 3, 5-8	s.o., oft mit Neuroborreliose verbunden	Wilske et al. 1996, Huegli et al. 2002, Oehme et al. 2002; Alpers et al. 2004, Leonhard 2005, Skuballa et al. 2007, Fingerle et al. 2008
<i>Borrelia spielmanii</i>	ja	<i>Ixodes</i> spp.	<i>Eliomys quercinus</i> , <i>Erinaceus europaeus</i> , <i>Muscardinus avellanarius</i>	s.o., bisher nur aus Erythema migrans isoliert	Leonhard 2005, Richter et al. 2004, 2006, Skuballa et al. 2007, Fingerle et al. 2008
<i>Francisella tularensis</i>	ja	<i>I. ricinus</i> , <i>D. reticulatus</i> , <i>D. marginatus</i>	Nager, Hasenartige	Tularämie (Hasenpest), Fieber, Myalgien Mortalitätsrate bei Menschen liegt bei 4-6%	Krauss und Weber 1986, Faulde und Hoffmann 2001, Hirsch et al. 2001, Maier et al. 2003
<i>Coxiella burnetii</i>	ja	<i>I. ricinus</i> , <i>D. reticulatus</i> , <i>D. marginatus</i> , <i>R. sanguineus</i> , <i>H. punctata</i>	Wiederkäuer, Säuger, Vögel	Q-Fieber, Fieber Myalgien, oft atypischen Pneumonie Infektion über Zeckenkot oder Lochien Fertilitätsstörungen, Abort bei Wiederkäuern	Krauss und Weber 1986, Alpers et al. 2004, Sting et al. 2004; Maier et al. 2003, Hartelt et al. 2008
<i>Babesia bovis</i>	n.u.	<i>I. ricinus</i> , <i>D. marginatus</i> , <i>H. punctata</i>	Nager, Rinder	Babesiose beim Rind	Maier et al. 2003

Pathogen	In B-W nachgewiesen	Vektor	Reservoirwirt	Pathogenität	Quelle
Babesia canis	ja	<i>I. ricinus</i> , <i>D. marginatus</i> , <i>D. reticulatus</i> , <i>H. punctata</i>	Hunde	Babesiose beim Hund, unbehandelt meist tödlicher Verlauf	Maier et al. 2003, Barutzki et al. 2007, Belitz et al. 2008
Babesia divergens	ja	<i>I. ricinus</i> , <i>D. marginatus</i> , <i>H. punctata</i>	Rinder	Babesiose bei immunschwachen Menschen	Hartelt et al. 2004, Maier et al. 2003, Leonhard 2005
Babesia microti	ja	<i>I. ricinus</i> , <i>D. marginatus</i> , <i>H. punctata</i>	Nager	Babesiose bei immunschwachen Menschen	Hartelt et al. 2004, Maier et al. 2004, Leonhard 2005

Anhand der Daten aus Nordamerika und Europa wird immer deutlicher, dass Zecken und die von ihnen übertragenen Pathogene nicht als voneinander unabhängige Probleme betrachtet werden können. Eher stellen sie ein komplexes System von Interaktionen dar, mit welchem ein drittes Element, nämlich der Wirt eng verknüpft ist. Um die Epidemiologie von zeckenübertragenen Krankheiten zu verstehen, müssen alle Ebenen dieses komplexen Systems untersucht werden und die Ergebnisse ganzheitlich betrachtet werden.

Die hiererbaute Literaturanalyse zur Epidemiologie von zeckenübertragenen Krankheiten stellt dabei Deutschland und Baden-Württemberg in den Mittelpunkt. Die Ökologie der Zecken, welche die Krankheiten übertragen und die Ökologie ihrer Wirte bilden die Grundlage der Analyse. Dabei werden sieben Komponenten dieses Systems betrachtet:

- 3.1. Ökologie der Pathogene
- 3.2. Interaktionen zwischen Pathogen und Zecke
- 3.3. Ökologie der medizinisch wichtigen Zecken in Deutschland
- 3.4. Zecken-Wirt-Interaktionen
- 3.5. Ökologie der Wirte
- 3.6. Pathogen-Zecke-Wirt-Interaktionen
- 3.7. Bezug zum Menschen

Unser Ziel ist eine kritische Analyse des gegenwärtigen Wissenstands: Was wissen wir sicher? Was wissen wir nicht? Gibt es offene Hypothesen und Fragen, die eine Überprüfung erfordern? Welche Maßnahmen sollten in der Zukunft umgesetzt werden, um die Bedrohung durch Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten für die menschliche Bevölkerung zu

verringern? Die verfügbaren Informationen stammen hauptsächlich aus Studien über die am besten bekannte, in Deutschland am weitesten verbreitete Spezies, den gemeinen Holzbock (*Ixodes ricinus*). Zusätzlich wird die Literatur zu anderen in Deutschland medizinisch wichtigen Spezies, der Auwaldzecke *Dermacentor reticulatus*, der Schafszecke *Dermacentor marginatus* und der Braunen Hundezecke *Rhipicephalus sanguineus*, soweit aussagekräftig, mit einbezogen. Eine komplette Liste der in Deutschland gemeldeten Zecken, inklusive ihrer Verbreitung, Habitatpräferenz, Wirtspräferenz sowie ihrer medizinischen und veterinärmedizinischen Signifikanz ist im Anhang 1 aufgeführt. Mehr Information über die in Baden-Württemberg bekannten, durch Zecken übertragene Pathogene befindet sich im Anhang 2.

Wir beginnen mit einigen Hintergrundinformationen über Zecken, die zum besseren Verständnis des nachfolgenden Reviews erforderlich sind.

2. Grundlagen

2.1. Biologie der Zecken

Die in Deutschland vorkommenden Zecken lassen sich zwei Familien zuordnen, die sich recht deutlich von einander unterscheiden, den Schildzecken (**Ixodidae**) und den Lederzecken (**Argasidae**). Von Letzteren existiert in Deutschland nur eine Spezies von humanmedizinischer Bedeutung, die Taubenzecke, *Argas reflexus*. Ihr Biss und der damit verbundene Speichelfluss können ernsthafte Irritationen und allergische Reaktionen bis hin zum anaphylaktischen Schock auslösen (Bauch und Lübke 1990, Dautel et al. 1991). Sie ist auf dem Land relativ selten, in Stuttgart, Mannheim, Karlsruhe und anderen Großstädten allerdings ein relativ häufiger Parasit von Stadttauben. Sie wird hier kurz behandelt (siehe auch Anhang 1). In Deutschland kommen 17 Arten von Schildzecken vor, acht davon wurden in Baden-Württemberg gefunden (siehe Anhang 1, Tabelle 2).

Tabelle 2. Die in Baden-Württemberg nachgewiesenen Zecken

Zeckenart	Hauptwirtsarten
Argasidae	
<i>Argas reflexus</i>	Tauben
<i>Carios vespertilionis</i>	Fledermäuse
Ixodidae	
<i>Dermacentor marginatus</i>	Adulte: Schafe. Nymphen und Larven: Nager, Kaninchen
<i>Dermacentor reticulatus</i>	Adulte: Rehe, Rotwild Nymphen und Larven: Nager, Kaninchen
<i>Ixodes arboricola</i>	Vögel
<i>Ixodes canisuga</i>	Füchse, Karnivoren
<i>Ixodes hexagonus</i>	Igel
<i>Ixodes ricinus</i>	Generalist: Reptilien, Vögel, Säugetiere
<i>Ixodes trianguliceps</i>	Nager
<i>Rhipicephalus sanguineus</i>	Hunde

Alle in Deutschland beobachteten Ixodidae-Arten haben einen dreiwirtigen Entwicklungszyklus. Das Weibchen legt seine Eier auf dem Boden unter organischen Materialien ab. Die Anzahl der Eier hängt von der jeweiligen Spezies ab; ein Weibchen von *I. ricinus* legt ca. 1000-2500 Eier (Balashov 1972), während es weibliche *D. reticulatus* auf ca. 2000-5000 Eier bringen (Zahler und Gothe 1997). Abhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit dauert es einige Wochen, bis die Larven schlüpfen (Balashov 1972, Oliver 1989). Die Larve muss nun einen Wirt finden, normalerweise ist es ein kleines Säugetier oder ein Vogel, um Blut und andere Körpersäfte zu saugen, bis sie schließlich voll gesogen ist. Der Saugakt erstreckt sich über ca. 5-7 Tage, nach denen sich die voll gesogene Larve auf den Boden fallen lässt, wo sie sich innerhalb einiger Wochen zur Nymphe häutet. Diese folgt demselben Schema wie die Larve, findet einen neuen Wirt, saugt sich voll, lässt sich abfallen und häutet sich entweder zum Männchen oder zum Weibchen (Balashov 1972, Oliver 1989). Für das weitere Geschehen gibt es zwei Möglichkeiten. Die Männchen und Weibchen der Gattung *Ixodes* paaren sich in der Regel vor der Wirtsfindung. Männchen haben andere Mundwerkzeuge als die Weibchen und müssen nicht unbedingt Blut saugen (Oliver 1989). Bei Weibchen dagegen ist eine Blutmahlzeit erforderlich, um die Eiproduktion und -ablage

gewährleisten zu können. Bei anderen Gattungen, inklusive *Dermacentor* und *Rhipicephalus*, benötigen sowohl Männchen als auch Weibchen eine Blutmahlzeit (Oliver 1989).

Unterschiedliche Zeckenarten zeigen unterschiedliche Wirtspräferenzen: *I. ricinus* befällt Reptilien, Vögel und Säugetier-Arten, wobei die Größe der Blutmahlzeit und somit der reproduktive Erfolg, sowohl von der Wirtsspezies als auch vom Immunstatus des Wirtsindividuums abhängt (Oliver 1989). *I. hexagonus* ist dagegen in der Wahl der Wirte in allen Stadien spezialisiert und befällt hauptsächlich Igel und im Weiteren Säuger der Familie *Mustelidae* (Marderartige). Eine noch engere Wirtspräferenz zeigt *I. lividus*. Diese Art wurde bisher fast ausschließlich an der Uferschwalbe *Riparia riparia* gefunden (Arthur 1963; Nosek und Sixl 1972, Anhang 1).

Zecken befinden sich nur einen kleinen Teil ihres Lebens auf dem jeweiligen Wirtstier, die meiste Zeit verbringen sie damit, sich zum nächsten Stadium weiter zu entwickeln und auf Wirte zu warten (98% der Zeit bei *I. scapularis*, Fish 1993) (Oliver 1989). Dies bedeutet, dass Entwicklung und Aktivität während dieser Zeit von lokalen Umweltbedingungen, also z.B. der Temperatur und Luftfeuchtigkeit, abhängig sind (siehe Abschnitt 3.3. unten, Estrada-Pena 2008). Bei Zeckenarten wie *I. ricinus*, *D. marginatus* und *D. reticulatus* bildet sowohl das Habitat in Wäldern und Graslandschaften als auch das Mikrohabitat diese Umgebung. Bei *I. hexagonus* und *Rhipicephalus sanguineus*, die stark an Wirtsnester bzw. im Mitteleuropa an menschliche Behausungen gebunden sind, steht mehr das **Mikroklima** im Vordergrund.

2.2. Epidemiologie von zeckenübertragenen Pathogenen

Unser Verständnis der Epidemiologie infektiöser Krankheiten ist in den letzten 25 Jahren in bedeutender Weise vorangekommen, was hauptsächlich den theoretischen Abhandlungen von Anderson und May zu verdanken ist (zusammengefasst in Anderson und May 1991). Typisch für zeckenübertragene Pathogene ist eine komplexe epidemiologische Dynamik, die von verschiedener Wirts- sowie Vektor-bedingten Parametern abhängt (Rosa et al. 2003, Tabelle 3). Dazu gehören die Populationsdichte der Zecken und deren Infektionsrate (Larven, Nymphen, Adultstadien), die Populationsdichte der Wirte und deren Infektionsrate, die Empfänglichkeit der wichtigsten Wirtsspezies und der Immunstatus der Wirtsindividuen.

Diese Parameter können dazu verwendet werden, ein mathematisches Modell über die Dynamiken von zeckenübertragenen Krankheiten zu entwickeln. Eines der Ziele solcher Modelle ist es, die grundlegende Reproduktionsrate (R_0), d.h. die Anzahl neuer Infektionen,

die von einer einzigen Infektion ausgehen, zu berechnen. Dies ist ein Parameter, der Informationen darüber liefert, ob sich eine Krankheit ausbreitet ($R_0 > 1$), konstant verläuft ($R_0 = 1$) oder wieder verschwindet ($R_0 < 1$) (Anderson und May 1991). Was passiert mit R_0 , wenn die geeigneten Wirte z.B. durch günstige klimatische Bedingungen (mehr Nahrung) eine höhere Geburtenrate haben? Durch die Untersuchung der Epidemiologie von *B. burgdorferi* in *I. scapularis* haben wir erfahren, wie die Wahrscheinlichkeit einer Infektion im nordöstlichen Teil der USA von folgender Kettenreaktion abhängt:

die Anzahl der Eicheln, die in einem Jahr produziert wird

→ beeinflusst die Überlebensrate der Wirtstiere (Mäuse)

→ beeinflusst den Reproduktionserfolg der Mäuse im nächsten Jahr

→ beeinflusst die Anzahl der empfänglichen Mäuse

→ beeinflusst die Chancen einer Zecke, einen geeigneten, infizierten Wirt zu finden

→ beeinflusst den Reproduktionserfolg der Zecken (Populationsdichte) und die Zahl der infizierten Zecken

→ beeinflusst die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung auf Menschen

Quantitative Daten zu diesen Parametern zu erhalten, ist entscheidend für das vollständige Verständnis der Epidemiologie von zeckenübertragenen Krankheiten.

Tabelle 3. Faktoren, welche die epidemiologischen Dynamiken von zeckenübertragenen Krankheiten beeinflussen (angelehnt an Rosa et al. 2003). Die beiden Spalten sind unabhängig voneinander.

Zecken (für jedes Entwicklungsstadium)	Wirt
-Dichte	Dichte geeignete Wirte
-Totale Zeckendichte	Dichte infizierter Wirte
-Reproduktionsrate der Zecken	Dichte immuner Wirte
-Sterblichkeitsrate	Geburtenrate geeigneter Wirte
-Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffen mit geeigneten Wirten	Sterblichkeitsrate geeigneter Wirte
-Abfallrate der Zecken	Sterblichkeitsrate infizierter Wirte
-Erfolg der Häutung	Sterblichkeitsrate immuner Wirte
-Wahrscheinlichkeit einer Infektion	Rate der Entstehung von Immunität
-Wahrscheinlichkeit der Übertragung des Pathogens von einem Zeckenstadium zum nächsten	Wahrscheinlichkeit der Infektion
-Wahrscheinlichkeit der Übertragung vom Muttertier auf die Larven	
-Aggregationsfaktor	

3. Pathogen-Zecken-Wirt-Systeme

3.1. Ökologie der Pathogene

Es gibt eine große Anzahl an Viren, Bakterien (einschließlich **Rickettsien**) und **Protozoa**, die von Zecken übertragen werden. In Deutschland ist das durch Zecken übertragene Virus der Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) das aus menschlicher Sicht wichtigste virale Pathogen (Faulde und Hoffmann 2001, Süss 2008). Es gibt daneben auch eine breite Spanne von bakteriellen zeckenübertragenen Pathogenen: *Borrelia afzelii*, *B. burgdorferi*, *B. garinii*,

B. spielmani, *B. valaisiana*, *Coxiella burnetii*, *Francisella tularensis*, *Rickettsia slovaca* usw. (Faulde und Hoffmann 2001, Süss et al. 2004). Die Erreger des *B. burgdorferi* s.l. Komplexes sind bei weitem die häufigsten und medizinisch wichtigsten vektorübertragenen Krankheitserreger in Deutschland (Süss et al. 2004). Protozoäre Pathogene, wie *Babesia divergens*, sind für die menschliche Gesundheit weniger signifikant, die meisten Infektionen kommen hier bei immunkompromittierten Patienten vor (Häselbarth et al. 2007). Wichtig ist, dass die epidemiologischen Zyklen dieser Pathogene, obwohl sie ähnlich erscheinen, wichtige Unterschiede z.B. in Wirt- und Vektorart (Tabelle 1), Verbreitung und **Prävalenz** aufzeigen.

3.1.1. Übertragungsdynamiken

Alle Krankheiten, die hier besprochen werden, haben einen **indirekten** Wirt-Zecken-Entwicklungszyklus, d.h. eine **direkte Übertragung** von Wirt zu Wirt ist nicht möglich. All diese Krankheiten sind außerdem **Zoonosen**. Das bedeutet, dass sie natürlicherweise in Tierpopulationen vorkommen und der Mensch nicht ihren Hauptwirt darstellt. *Borrelia*-Arten sowie Rickettsien und FSME werden durch die saugende Zecke auf ihren Wirt übertragen, durch den Speichel, welcher in den Wirt injiziert wird (Nuttall et al. 2000), während *C. burnetii* vom Menschen gewöhnlich beim Schlachten oder Schären von Schafen als Tröpfcheninfektion eingeatmet wird, obwohl der sylvatische Zyklus über Zecken als Vektoren läuft (Marrie und Raoult 1997). Der Speichel beinhaltet verschiedene Substanzen die z.B. eine immunsuppressive bzw. immunomodulierende Wirkung haben (Wikel 1999). Ist die Wirtsart und das Wirtsindividuum für das Pathogen empfänglich, vermehrt sich dieses in ihm und kann von einer anderen Zecke während deren Blutmahlzeit wieder aufgenommen werden (Labuda et al. 1997, Nuttall et al. 2000). Selten, z.B. bei FSME und *Borrelia burgdorferi* sensu lato, geben infizierte weibliche Zecken die Infektion direkt an ihre Eier weiter und damit an die Larven, die aus ihnen schlüpfen (Kurtenbach et al. 1995, Lindquist und Vapalahti 2008). Sobald eine Zecke infiziert ist, trägt sie diese Infektion bei allen hier behandelten Erregern auch in ihrem nächsten Entwicklungsstadium.

Doppelinfektionen von Zecken mit zwei oder mehreren verschiedenen Erregern sind möglich. *I. ricinus* zum Beispiel, kann mit einer *Borrelia* sp. und FSME oder *Anaplasma phagocytophilum* gleichzeitig infiziert sein und all diese Pathogene potentiell auch übertragen, was beim Patienten oftmals diagnostische Probleme und einen schweren klinischen Verlauf verursacht (Cinco et al. 1997, Leutenegger et al. 1999, Swanson et al. 2006). Doppelinfektionen von *I. ricinus* sind auch aus Baden-Württemberg bekannt, treten

jedoch lediglich bei ca. 1% der untersuchten Zecken auf (Baumgarten et al. 1999, Oehme et al. 2002).

3.1.2. Klimatische und landschaftliche Veränderungen

Die Anzahl der Neuinfektionen des Menschen mit *Borrelia*-Spezies und FSME wächst in Mittel- und Nordeuropa seit Mitte der 1980er Jahre (Randolph 2000). Daten aus Schweden zeigen, dass dies eng mit den monatlichen mittleren Temperaturen im Sommer, der Anzahl der Tage im Winter mit Temperaturen unter 0°C und weniger eng mit dem monatlichen mittleren Niederschlag und den Sommertagen mit einer relativen Luftfeuchtigkeit von über 86% korreliert (Lindgren und Gustafson 2001, Bennett et al. 2006).

2006 gab es einen Höchststand in der Anzahl von FSME-Fällen in einigen europäischen Ländern. Das Jahr 2006 hatte einen ungewöhnlich kalten Winter, gefolgt von einem der heißesten Sommer seit der Wetteraufzeichnung (Randolph et al. 2008). Versuche die steigende Anzahl der FSME Krankheitsfälle dem globalen Klimawandel zuzuschreiben, schlugen statistisch jedoch fehl (Sumilo et al. 2007, Randolph et al. 2008). Es schien viel mehr, dass wetterbezogen verstärkte menschliche Freizeitaktivitäten im Freien, zu der erhöhten FSME-Abundanz geführt hatten (siehe auch Randolph 2000). Andererseits deuten Zirkulations-Modelle, welche die Daten von Krankheitsausbreitung und Klima zusammenbringen, sogar an, dass FSME in Mitteleuropa graduell verschwinden wird und sich ein neues Zentrum der Krankheit in Skandinavien etabliert (Randolph und Rogers 2000). Obwohl diese Daten suggestiv sind, fehlen generell Informationen über den Effekt des Klimas auf den natürlichen Wirt der Erreger oder die komplexe Interaktion zwischen Wirt, Zecke und Pathogen.

3.2. Interaktionen zwischen Pathogen und Zecke

In Baden-Württemberg ist das Spektrum der von *I. ricinus* übertragenen Krankheiten mit fünf *Borrelia*-Arten, FSME und *A. phagocytophilum* und weiteren, weniger häufig auftretenden Pathogenen (siehe Anhang 2) sehr groß, was die epidemiologische Lage verkompliziert.

Erhebliche Unterschiede bestehen in der Prävalenz der einzelnen Pathogene in *I. ricinus*, abhängig von der Jahreszeit und geographischen Lage und auch zwischen unterschiedlichen Entwicklungsstadien der Zecke innerhalb desselben Gebiets und derselben Jahreszeit. In einer Studie über *I. ricinus* in drei unterschiedlichen Habitaten im Siebengebirge bei Bonn konnten

z. B. erheblich höhere Prävalenzen von *B. burgdorferi* s. l. in schwülen Eschen-, Ahorn- und Hainbuchen-Wäldern als im trockenen Kalk-Buchenwald festgestellt werden (Kampen et al. 2004). Interessanterweise hatte die Durchseuchung im Vergleich zu zehn Jahren zuvor zugenommen (Kurtenbach et al. 1995). Andere Untersuchungen haben gezeigt, dass die Prävalenzen von *B. burgdorferi* s.l. und *A. phagocytophilum* in weiblichen *I. ricinus* erheblich höher sein können als in Männchen oder Nymphen und dass beachtliche regionale Unterschiede bestehen (Grzeszczuk et al. 2002, Chmielewska-Badora et al. 2007). Die Gründe für solche Unterschiede sind bisher unbekannt.

Obwohl *I. ricinus* der wichtigste Vektor von zeckenübertragenen Krankheiten in Deutschland ist, sind verschiedene andere Arten ebenfalls von epidemiologischer Relevanz (Skuballa 2007, 2010). Viele dieser Arten sind relativ wirtsspezifisch und bauen epidemiologische Subzyklen auf, die den Menschen nur am Rande beeinflussen. *Ixodes uriae* z.B., eine Zecke mariner Vogelarten, sowohl der kalten Breitengrade der nördlichen als auch südlichen Hemisphäre, überträgt *Borrelia garinii*. Aufgrund der engen Wirts-Präferenz des Vektors scheint das Transmissionshabitat aber relativ abgeschlossen zu sein und eine Übertragung des Bakteriums auf den Menschen wurde durch diese Zecke bisher nur sehr selten nachgewiesen (Olsen et al. 1993, 1995, Estrada-Pena und Jongejan 1999, Smith et al. 2006).

In Bezug auf die auf Wild parasitierenden Zecken und ihren Pathogenen gibt es in Baden-Württemberg bislang zu wenige Informationen, um die epidemiologische Situation klar zu verstehen. Allerdings lassen Daten über die Igelzecke *I. hexagonus* vermuten, dass sie neben *I. ricinus* als sekundärer Vektor an epidemiologische Zyklen von z.B. *B. afzelii*, *B. garinii*, *B. spielmani*, *A. phagocytophilum* und FSME beteiligt ist, auch wenn sie die Erreger nur sehr selten direkt auf den Menschen überträgt sondern im Reservoirwirt Igel für eine hohe Durchseuchung sorgt (Skuballa et al. 2007, 2010, unveröffentlichte Daten). Auch *Dermacentor*-Arten scheinen an der Transmission von FSME, *Rickettsia* spp. und *C. burnetti* (im natürlichen Zyklus) als Vektoren von Bedeutung zu sein. Gleiches gilt für *I. canisuga* (*Borrelia* spp.), welche überwiegend Füchse befällt aber ebenfalls auf Hunden gefunden werden kann, sowie bei *I. trianguliceps* (*Borrelia* spp., *A. phagocytophilum*), welche ein spezialisierter Nager-Parasit ist (Estrada-Pena et al. 1995, Gern und Humair 2002, Bown et al. 2003, 2006, Süss et al. 2004). Diese Zyklen wurden kaum untersucht und eine Abschätzung ihrer epidemiologischen Signifikanz ist deshalb nicht möglich. Wahrscheinlich tragen die in diesem Abschnitt genannte Zeckenarten zu einer hohen Abundanz der mit ihrem assoziierten

Pathogene bei, während die Transmission auf den Menschen dann durch Generalisten wie *I. ricinus* erfolgt, ähnlich wie wir es für Igel und *I. hexagonus* postulieren.

3.3. Ökologie der medizinisch wichtigen Zecken in Deutschland

3.3.1 Überleben und Entwicklung abseits des Wirtes

Die medizinisch wichtigste Zeckenart in Deutschland (einschließlich Baden-Württemberg) ist *I. ricinus*, gefolgt von den beiden *Dermacentor*-Arten (Tab. 1, siehe auch Anhang 3 für allgemeine Informationen über *Dermacentor*-Arten und *Rhipicephalus sanguineus*). Die vielen Publikationen, die Aspekte der Ökologie von *I. ricinus* und den beiden *Dermacentor*-Arten behandeln, sind heterogen und in ihrer Qualität sehr unterschiedlich. Die meisten Daten stammen aus Freilanduntersuchungen, die selten länger als ein Jahr andauerten, wobei die meisten Artikel *I. ricinus* nur als einen Teil der Parasitenfauna des jeweiligen Wirts behandeln.

Die hervorgehobene Bedeutung von *I. ricinus* beruht auf einer Vielzahl von Gründen. Die Art ist europaweit verbreitet und hat normalerweise eine höhere Populationsdichte als die anderen Zeckenarten. Sie ist weitestgehend wirtsunspezifisch und kann deshalb die meisten Vögel, Säuger und Reptilien einer Region als Wirt nutzen (siehe Anhang 1). Menschen werden oft befallen. Ein erfolgreiches Blutsaugen ist auch hier möglich, obwohl die Zecke von diesem Wirt in der Regel während der Blutmahlzeit getötet wird und somit nicht zur Eiablage kommt. Der Mensch stellt für die Zecke also eine ökologische Falle dar (Estrada-Pena und Jongejan 1999). Am wichtigsten jedoch ist, dass *I. ricinus* als Hauptvektor einer Vielzahl von Pathogenen dient (Tabelle 1) (Anhang 2; Süss und Schrader 2004, Süss et al. 2004).

Die Überlebensfähigkeit aller Zeckenarten sowie ihre Entwicklungsrate sind abhängig von Temperatur und Luftfeuchtigkeit (Balashov 1972, Oliver 1989). Bei der südafrikanischen Zecke *Amblyomma hebraeum* konnte festgestellt werden, dass die Prozentzahl an Eiern, die Schlüpfen stark von Luftfeuchtigkeit (**Sättigungsdefizit**) und Temperatur abhängen (Norval 1977). Die Eier entwickeln sich am besten in einem bestimmten Temperatur- und Luftfeuchtigkeitsbereich. Zu niedrige Temperaturen sowie zu hohe Sättigungsdefizite (und umgekehrt), reduzieren die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Schlüpfens der Eier oder schließen dies ganz aus (Needham und Teel 1991). Es ist bekannt, bzw. wird postuliert, dass dies für alle in dieser Hinsicht untersuchten Zecken ähnlich sei (Needham und Teel 1991).

Nicht nur das Schlüpfen der Eier wird in hohem Maße durch die Parameter Temperatur und Luftfeuchtigkeit beeinflusst, sondern auch die Entwicklung der Larven, Nymphen und Adultstadien (Norval 1977, Needham und Teel 1991). Die maximale Überlebensrate von adulten *A. hebraeum* wird z.B. bei einer Temperatur von 27-32°C und einem Sättigungsdefizit von 7-12 mm Hg erreicht (Norval 1977). Die Entwicklungsrate für *I. ricinus* steigt mit steigenden Temperaturen bis zu einem Stellenwert von 30°C an, während die Prä-**Ovipositions**-Periode und die Zeit, die die Eier bis zur Entwicklung der Larve benötigen mit der Temperatur abnehmen (Randolph et al. 2002). Bei Temperaturen über 30°C ist das Überleben der Zecken reduziert.

Randolph et al. (2002) konnten zeigen, dass die Entwicklungsrate von der Larve zur Nymphe während der kalten Winterperiode Null ist, mit steigender Temperatur zu einem Peak in der Mitte des Sommers ansteigt und mit fallenden Temperaturen im Herbst wieder abnimmt. Diese Beispiele verdeutlichen, wie klimatische und mikroklimatische Faktoren die Entwicklungsrates und das Überleben von Zecken unter natürlichen Bedingungen beeinflussen. Ein besseres Verständnis für diese Faktoren innerhalb Baden-Württembergs ist notwendig, um die Überlebenswahrscheinlichkeit von Zecken abschätzen zu können.

3.3.2. Verbreitung

Little work has been done on the regional assessment of habitat suitability.

Estrada-Pena (2004)

Das Vorkommen von *I. ricinus* in Baden-Württemberg umfasst sehr unterschiedliche Habitate wie zusammenhängende Wälder, Waldränder, Vorstadtgärten und städtische Grünanlagen. In allen Habitaten fungiert die Zecke potentiell als Überträger von humanpathogenen Erregern (Maiwald et al. 1995, Junttila et al. 1999, Maetzel et al. 2005, Petney et al. unveröffentlichte Daten).

Europaweit betrachtet ist das gesamte von *I. ricinus* besiedelte Areal nicht klimatisch homogen. Estrada-Pena et al. (2006) klassifizieren für Europa neun klimatisch-ökologisch unterschiedliche Habitate, die von *I. ricinus* besiedelt werden. Es erscheint so, als ob sich diese Siedlungsgebiete der Zecke auch in Bezug auf die Dynamik und das Muster der Wirt-Zecken-Pathogen Interaktionen voneinander unterscheiden (Estrada-Pena et al. 2006). Dies in einer breit angelegten Studie zu verifizieren, stellt eine wichtige Aufgabe für die Zukunft dar.

Klimatische Bedingungen haben einen erheblichen Einfluss auf das Aktivitätsmuster aller Entwicklungsstadien von *I. ricinus* (Perret et al. 2004). Es wurde kürzlich eine Ausweitung des Areal von *I. ricinus* (und damit gleichzeitig von FSME und Borreliose) in Richtung Norden sowie ein Vordringen in höhere Lagen festgestellt (Lindgren et al. 2000; Daniel et al. 2003). Dautel et al. (2008) postulieren außerdem, dass der milde Winter von 2006/2007 für die fast ganzjährige Aktivität von *I. ricinus* in Berlin verantwortlich war. Sollten solch milde Winter häufiger vorkommen, wie es von Klimamodellen vorausgesagt wird, könnte die Periode der Gefährdung der menschlichen Bevölkerung durch zeckenübertragene Pathogene länger andauern. Nicht nur wird sich zukünftig das jahreszeitliche Aktivitätsmuster von *I. ricinus* verändern; die Auwaldzecke *D. reticulatus* ist zurzeit dabei, ihr Verbreitungsgebiet nach Westen hin auszuweiten (Dautel et al. 2006, Bullova et al. 2009). Dies geht auch mit einer Erweiterung der Habitatpräferenz einher. Zusätzlich zu Bereichen entlang von Flußläufen in Europa, dem klassischen Habitat dieser Zecke, werden sogar trockenere Waldgebiete als Habitat angenommen (Dautel et al. 2006, Bullova et al. 2009).

Randolph (2001) postuliert, dass die beobachtete Zunahme von FSME und von Borreliose in Mittel- und Nordeuropa sowie deren Rückgang in Südeuropa innerhalb der letzten zwei Jahrzehnte nur teilweise durch Klimaveränderung verursacht wurde. Sie ist der Meinung, dass dieses Problem auch durch anthropogene Landschaftsveränderungen (z. B. Habitatfragmentierung), welche das Wachstum und die Verdichtung der Wirts- und *I. ricinus*-Population förderten, verstärkt wird. Das Beispiel zeigt, dass die bisher noch recht geringe Menge an Daten vielerlei Spekulationen zuläßt.

Lokal betrachtet, kann die Ausbreitung von Zecken und den von ihnen übertragenen Pathogenen von einer Vielzahl von Faktoren beeinflusst werden. Wie zuvor aufgezeigt wurde, sind Temperatur und Luftfeuchtigkeit von besonderer Bedeutung, auch in mikroklimatischen Bereich. Das Mikroklima ist von verschiedenen anderen biotischen und abiotischen Faktoren abhängig. Dazu zählen die Höhe der jeweiligen Vegetation (Schatten, und vegetationsbedeckte Böden sorgen für niedrige Temperaturen aber hohe Luftfeuchtigkeit) und der Bodentyp (Wasserspeicherfähigkeit und interstitielle Rückzugsräume für die Zecken) (Merler et al. 1996, Schwarz et al. 2009). Diese Variablen sind wichtige Charakteristika, der von Zecken besiedelten Habitate. Wirte haben gleichermaßen spezifische Ansprüche, die in die Habitatanalyse mit einbezogen werden müssen. Demnach sollte in Studien, welche die Verbreitung und Populationsdynamik von Zecken behandeln, jeder Kleinlebensraum

(**Mikrohabitat**: definiert durch Vegetation, Bodenbeschaffenheiten, usw.) separat betrachtet werden.

In der umfassendsten Studie über *I. ricinus* die bislang durchgeführt wurde, verglich Estrada-Pena (2001) über den Zeitraum von drei Jahren die Abundanz und Verteilung von Zecken in 18 verschiedenen Habitaten, die sich vorwiegend in Bezug auf den Vegetationstyp unterschieden. Dieses Monitoring fand in Spanien statt. Es zeigte sich, dass *I. ricinus* nicht in offenen, grasbewachsenen Flächen, und nicht in jungen Pinien-Monokulturen zu finden war, sondern Gebiete mit hohem Anteil an verbuschten Habitaten bevorzugte. Die stärkste Präferenz zeigte die Zecke für fragmentierte Wälder mit Eichen und vielen **Ökotonen**. Der Autor konnte zeigen, dass 50% der Varianz in der Zeckenabundanz, durch Temperatur und Vegetationscharakteristika des Habitats bedingt waren. Da sich aber sowohl die vorherrschenden Temperaturen als auch das Mikroklima essentiell zwischen Spanien und Deutschland unterscheiden, können die Befunde dieser wegweisenden Studie nicht auf Mitteleuropa übertragen werden.

Die Habitat-Fragmentation, durch Straßen, Parkplätze und landschaftlich genutzte Wege, scheint ebenfalls für die Dispersion von Zecken von großer Bedeutung zu sein (Estrada-Pena 2002). Sollte dies zutreffen, nehmen wir an, dass *I. ricinus*, die leicht durch Vögel transportiert werden kann, eine wesentlich gleichmäßigere Verteilung innerhalb der entsprechenden Habitate aufweisen wird als *D. reticulatus*, deren Verbreitung wegen des Fehlers von flugfähigen Wirt (Tabelle 2) mehr auf abgegrenzte Habitate beschränkt sein wird.

Auch in Deutschland durchgeführte Untersuchungen belegen einen Zusammenhang zwischen freilebenden Zeckenstadien und Zeckenbefall bei Wirbeltieren auf der einen Seite und Faktoren des Habitats auf der anderen (Kurtenbach et al. 1995, Kampen et al. 2004). Es handelt sich dabei aber um lokal begrenzte Einzelbefunde, die jeweils auf eine Vegetationsperiode beschränkt bleiben. Daten aus einer Studie von Schwarz et al. (2009) aus dem Siebengebirge bei Bonn sind sehr interessant, da hier gezeigt wird, dass die Zeckendichte mit Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchtigkeit und Vegetation korreliert war. Allerdings wurden lediglich fünf Habitate von Mai bis November eines Jahres untersucht und nur Vermutungen über Zeckenabundanz und Wirtsdichte aufgestellt.

Außer durch die Landschaftsnutzung und die mikroklimatischen Gegebenheiten in diesen Habitaten scheint das Verbreitungsmuster von *I. ricinus* auch durch das Vorhandensein geeigneter Wirte bedingt zu sein. Welchen Anteil die Wirtspräsenz dabei tatsächlich hat, wurde bisher in Europa nicht in erforderlichem Maße untersucht. Juntilla et al. (1999) zeigten jedoch, dass große Säuger nicht für eine Persistenz von *I. ricinus* in einem Lebensraum erforderlich sind. Kleinsäuger wie Mäuse (Perkins et al. 2006) oder Insectivora wie Igel (Pfäffle et al. 2009) reichen als Wirte aus. Die lokale Abwesenheit von Rehen, die nicht empfänglich für *Borrelia*-Infektionen sind und im Hinblick auf den Erregern somit als ökologische Falle fungieren, kann zu einer erhöhten Zahl von infizierten Zecken führen. *I. ricinus* ist dann nämlich auf Nager angewiesen, die empfänglich für Infektionen und dadurch für die Pathogenübertragung von Bedeutung sind (Perkins et al. 2006).

Eine hohe Dichte geeigneter Wirte wirkt sich förderlich auf die Populationsdichte von *I. ricinus* und schließlich auf die Durchseuchung dieser Wirte und der Zecken mit Borrelien aus wie sich anhand einer Studie von Pfäffle et al. (2009) zeigen ließ. Vierzig Igel wurden als experimentelle Population in einem ausgedehnten Vorstadtgarten über drei Jahre untersucht. Die Dichte dieser Wirtspopulation überstieg die einer durchschnittlichen wilden Vorstadtigelgesellschaft um das ca. Fünf- bis Zehnfache. *I. ricinus* baute unter diesen Bedingungen mit einer hohen Dichte nur einer Kleinsäugerspezies (andere Wirtsarten wurden nicht zugelassen) bereits im ersten Jahr sehr dichte Populationen auf. Die Abundanz dieser Zeckenart war etwa zehnmal höher als bei normaler Wirtsdichte. Die Igel waren auch mit der wirtsspezifischen Igelzecke *I. hexagonus* infiziert. Interessanterweise konnte diese im Nest übertragene Art nicht von der experimentell erhöhten Wirtsdichte profitieren. Die Wechselbeziehungen zwischen den Wirten und den Parasiten und Pathogenen können also recht komplex sein.

Hohen Populationsdichten geeigneter Wirte müssen nicht zwangsläufig mit einem Transmissionsfokus korreliert sein. Petney et al. (2010) berichten von einem Vorstadtgarten, in dem im Winter und Frühjahr ca. 2000 Stare in einem kleinen Bambuswäldchen übernachteten, was zu einer sehr hohen Dichte von *I. ricinus* von bis zu 49 Zecken/m² Garten führte. Die vielen zu Boden fallenden Zecken finden angesichts der wenigen dort lebenden Kleinsäuger kaum geeignete Wirte. Bei den in *I. ricinus* nachgewiesenen Borrelien handelte es sich um *B. garinii* und *B. valaisiana* (Petney et al. 2010), zwei Arten mit Präferenz für

Vögel, die aber z.B. auch in Menschen gefunden wurden. Im Sinne von *I. ricinus* und den Borrelien stellt das Bambuswäldchen somit eine ökologische Falle dar.

Eine Langzeitstudie, welche die Zeckenabundanz mit den oben erwähnten Charakteristika des Habitats, einschließlich deren Veränderungen über die Jahre korreliert, existiert für Baden-Württemberg bisher nicht. Wenn jetzt ein solches Monitoring durchgeführt werden soll, wäre es sehr wünschenswert, die Datenerhebung nach einem durchdachten Schema vorzunehmen, so dass die relevanten Parameter auch tatsächlich berücksichtigt werden. Auch sollte die Auswahl der Probenahmestellen mit Bedacht erfolgen.

Es wurde oft spekuliert, dass sich aufgrund der für Europa vorhergesagten steigenden Temperaturen und der trockneren Sommer (IPCC 2007) die Bedeutung von Zecken in den nächsten Jahrzehnten weiter erhöht (Lindgren et al. 2000, Randolph 2004). Dabei wird allerdings nicht bedacht, dass sich das Überleben von Zecken in hohem Maße durch die Luftfeuchtigkeit und Temperatur des Habitats reguliert. Niedrige Luftfeuchtigkeit und hohe Temperaturen sind abträglich, während sehr hohe Luftfeuchtigkeit bei den Zecken zu Pilzbefall führt (Kalsbeek et al. 1995). Jedenfalls darf damit gerechnet werden, dass zukünftige klimatische Veränderungen einen modifizierenden Einfluss darauf haben, welche Zeckenart in welchem Habitat leben kann und ob sie dort Pathogene dieser oder jener Art auf den Menschen überträgt. Was genau passieren wird, ist jedoch unbekannt!

3.3.3. *Natürliche Bewegungen und Wirtsfindung*

Generell können Zecken hinsichtlich ihrer Wirtsfindungsstrategie in drei Gruppen eingeteilt werden. Einige Spezies, wie die Igelzecke *I. hexagonus*, haben einen sehr geringen Aktionsradius und leben eng assoziiert mit ihren Wirten (Kategorie 1). Die Übertragung erfolgt im ihrem Nest oder an den Ruheplätzen (Oliver 1989). Andere Arten, besonders einige der großen *Hyalomma*- und *Amblyomma*-Zecken, die in Deutschland nicht vorkommen (Kategorie 2), bewegen sich aktiv im Gelände, um ihre Wirte zu finden. *I. ricinus*, *D. marginatus* und *D. reticulatus* gehören zur großen, dritten Gruppe von Zecken, die im Hinterhalt sitzend auf ihren Wirt warten (Kategorie 3, Oliver 1989).

Wir wissen nur wenig über die Entfernungen, die Zecken abseits eines Wirtes zurücklegen. Feldstudien an *I. scapularis* in Nordamerika zeigten, dass adulte Zecken für Strecken von fünf und mehr Metern mehrere Wochen brauchen und Nymphen sich in Distanzen von zwei bis

drei Metern bewegen (Carroll und Schmidtman 1996). Experimentelle Studien im Labor haben dokumentiert, dass *I. ricinus*-Nymphen sich vermehrt nach Einsetzen der Dunkelheit bewegen, und dass ihre Aktivität bei niedriger Luftfeuchtigkeit nachlässt (Perret et al. 2003). Crooks und Randolph (2006) experimentierten mit *I. ricinus*-Nymphen mit unterschiedlichen Fett- und Kohlehydratreserven. Es zeigte sich, dass die Individuen mit größeren Nährstoffreserven sich eher horizontal bewegen, während sich solche mit schlechterem Ernährungszustand eher in Richtung höhere Luftfeuchtigkeit orientieren. Horizontale Bewegungen scheinen bei allen Stadien von *I. ricinus* natürlicherweise nur in geringem Umfang vorzukommen (Crooks und Randolph 2006). Informationen über *Dermacentor* Arten sind rar, jedoch folgen beide in Baden-Württemberg gefundene Arten dem Sitzen-und-Warten-Muster; große Fortbewegungstrecken sind eher untypisch (Harlan et al. 1990, Lane et al. 1995). Zusammengefasst lässt sich sagen: Keine der Spezies, die in Baden-Württemberg für den Menschen von Bedeutung sind, bewegt sich losgelöst vom Wirt weite Strecken in der Umwelt. Der dennoch vorhandene große Aktionsradius beruht auf dem Herumstreifen der Wirte.

Zecken-Arten, die auf ihre Wirte warten, zeigen oftmals ausgeprägte vertikale Bewegungsmuster. Generell klettern diese Arten der Kategorie 3 auf niedrige Vegetation wie Grashalme bis in einen Meter Höhe, wo **Questing** (wirtssuchendes Verhalten) stattfindet (Mejlon und Jaenson 1997, Petney et al. unveröffentlichte Daten). Falls die Zecke dehydriert und das Feuchtigkeitsniveau am Boden höher ist als in der Luft, kann ein auf- oder abwärtsgerichtetes Klettern zwischen dem Wartepunkt und dem Boden vorkommen (Perret et al. 2000).

Man weiß, dass Infektionen mit *B. burgdorferi* sensu lato unter anderem die lokomotorische Aktivität bei *I. ricinus* einschränkt, wobei die Bewegungsintensität auf dem menschlichen Wirt erhöht ist (Alexeev und Dubinina 2000).

Bewegung schließt nicht nur die Suche nach einem adäquaten Ansatzpunkt, von wo aus ein Wirt besiedelt werden kann oder die Verhinderung von Dehydrierung ein, sondern kann nach Art einer Taxie auch zu bestimmten Wirtsstimuli hingerrichtet sein. Es ist schon lange bekannt, dass Wirtstiere CO₂ produzieren und dass Zecken dadurch stimuliert werden und sich in Richtung der CO₂-Quelle bewegen (Wilson et al. 1972). Dies gilt auch für *I. ricinus*, obwohl die Datenlage hier unübersichtlich ist. Gray (1985) testete in Irland die Effektivität

von CO₂ Fallen, die kontinuierlich von Anfang Mai bis Mitte Juni zum Sammeln von *I. ricinus* aufgestellt wurden. Zwei Gebiete wurden ausgewählt, eines mit einer höheren Zeckendichte und ein anderes mit einer geringeren. In beiden Gebieten wurde eine große Anzahl aller Entwicklungsstadien gesammelt, wobei die CO₂ Fallen sich als effektiver als die konventionelle Flaggmethode erwiesen. Allerdings fand man in einem Experiment, mit gezielt im Gelände zwischen einem halben und vier Metern Abstand zur platzierten Falle verteilten Nymphen, Männchen und Weibchen, nur wenig Bewegung in Richtung der CO₂-Falle (Gray 1985).

I. ricinus zeigt nur geringe genetische Unterschiede zwischen seinen Populationen, was auf hohe Raten von Genaustausch rückschließen lässt. Dies geschieht wahrscheinlich durch eine Durchmischung der Populationen über Vögel und verschiedene Säuger mit großen, sich überlappenden Territorien (Delaye et al. 1997). Die Horizontalbewegung der Zecken erfolgt offenbar nicht aus eigener Kraft sondern basiert auf der Zuhilfenahme des Wirts als Vehikel.

3.3.4. Populationsdynamik

Es gibt verschiedene gebräuchliche Methoden, die Populationsdichte von Zecken zu bestimmen. Das verbreitetste Vorgehen besteht darin, Stofffahnen über die Vegetation zu ziehen (**Flaggen**). Etwa 10% der Zecken, die auf der beflaggten Vegetation auf Wirtssuche sind, können anschließend auf diesem Stoff krabbelnd gefunden werden (Daniels et al. 2000, Tälleklint-Eisen und Lane 2000). Die Größe des geflaggten Gebiets und der Zeitraum, über den geflaggt wurde, ermöglichen eine gute quantitative Schätzung der in diesem Gebiet vorhandenen Zecken. Aufgrund von Vegetationsunterschieden, die das Flaggen beeinflussen können, und der biotypisch verschiedenen Wahrscheinlichkeit, dass eine Zecke bereits einen Wirt gefunden hat, erhält man durch diese Methode allerdings keine standardisierte Information. Die Populationen von Zecken verschiedener Untersuchungsgebiete können auf diese Weise nicht zuverlässig mit einander verglichen werden (Randolph 2004). Genauere Befunde können nur erlangt werden, indem man zusätzlich die Anzahl von Zecken auf den Wirten und die Populationsdichte der Wirte untersucht.

Jahreszeitliche Abundanzschwankungen sind von allen frei lebenden, hier berücksichtigten Zeckenarten bekannt. Bei *R. sanguineus* ist dies nicht der Fall, da diese Art in Deutschland ausschließlich in Gebäuden vorkommt, wo Temperatur und Luftfeuchtigkeit von der Außenwelt weitgehend abgekoppelt sind. Sowohl bei *I. ricinus* als auch bei *D. reticulatus*

zeigen Adulte und Nymphen ein ausgeprägtes bimodales Muster, d. h. sie kommen meist gehäuft im Frühling und Herbst vor, während die Larven ihren Peak im Sommer haben (Korenberg 2000, Kurtenbach et al. 2006, Pfäffle et al. 2011). *D. marginatus* folgt einem ähnlichen Muster, wobei die Adulten z.T. auch spät im Winter gefunden werden können (Petney unveröffentlichte Daten).

Das arttypische jahreszeitliche Abundanzmuster muss aber nicht immer klar zutage treten. Zwischen einzelnen Jahren kann es erhebliche Schwankungen geben (Kurtenbach et al. 2006). Darüber hinaus existieren in Europa auch Gebiete, in denen sich ein anderes Schema erkennen lässt, was zum Beispiel auf dem milden Klima in Südengland und Irland beruhen kann. Nilsson (1988) untersuchte Gebiete in Schweden. Dort wurden die Proben einmal im Monat von März bis November in den Jahren 1968, 1969 und 1970 gesammelt. Die Peak-Intensität der Larven variierte erheblich zwischen den Jahren, der Peak trat jeweils im August, September und Oktober auf. 1968 und 1970 wurden kleinere Peaks im Oktober und Juli festgestellt, während 1969 lediglich eine einzelne Abundanzspitze beobachtet wurde. Die Unterschiede zwischen den Jahren war für die Nymphen weniger drastisch, obwohl der typische Peak im Frühling 1962 komplett fehlte (Nilsson 1988). In allen Untersuchungsgebieten zeigte sich, dass es jahreszeitliche Muster gibt, diese aber beachtlichen Variationen unterworfen sind und in einzelnen Jahren völlig ausfallen.

Unter der Vielfalt an Veröffentlichungen zur Abundanz und Populationsdynamik von *I. ricinus*, *D. marginatus* und *D. reticulatus* finden sich leider nur wenige Langzeitstudien, die sich über fünf Jahre und mehr erstrecken. Die umfangreichsten Untersuchungen wurden von Estrada-Pena und Koautoren in Zentralspanien an der Südgrenze des Verbreitungsgebiets von *I. ricinus* durchgeführt (Estrada-Pena et al. 2004). Diese Studie erstreckt sich über neun Jahre. Gesammelt wurde durch 30-minütiges Flaggeln. Larven zeigten in den meisten Jahren einen einzigen scharfen Peak im Juli/August, Nymphen konstant zwei Peaks, wobei der im Frühling höher ausfiel als der herbstliche. Bei den Adulten herrschte eine Bimodalität vor, die sich von der in Zentraleuropa unterschied, da in Spanien der Herbstpeak meist der höhere war. Interessantweise kam es während des neunjährigen Untersuchungszeitraums zu einem Anwachsen der Populationsgrößen aller Entwicklungsstadien. Die Dynamik war also langfristig, einseitig gerichtet. Es ließen sich dabei nur Vermutungen anstellen, welche Faktoren die Zunahme der Zecken bewirkten. Estrada-Pena et al. (2004) vermuteten, dass sowohl klimatische Faktoren als möglicherweise auch eine verbesserte Verfügbarkeit geeigneter Wirte eine Rolle spielten (siehe auch Estrada-Pena 2003).

Abundanzvariationen bei Zecken und den von ihnen übertragenen Pathogenen wurden in Baden-Württemberg bisher nicht ausreichend untersucht.

Teilweise kann man die Unregelmäßigkeiten auf Fehler beim Sammeln der Zecken zurückführen. Zum Beispiel legen Weibchen von *Ixodes*-Arten ihre Eier in einem Paket ab und sterben dann. Daher ist die Dichte an Larven in der Umgebung einer solchen Eiablage natürlicherweise stark erhöht. Auch aufgrund solcher Erkenntnisse ist es angebracht, groß angelegte Probenahmen durchzuführen (Petney et al. 1990). Echte Schwankungen in der Dichte von Zeckenpopulationen zwischen den Jahren scheinen zum Teil mit klimatischen Faktoren wie zu geringer Luftfeuchtigkeit und ungünstigen Temperaturen zusammenzuhängen (Knap et al. 2009). Im Weiteren wirken sich auch Faktoren wie die zeitlich vorhergegangene Populationsdichte (die Chance ein Geschlechtspartner zu finden), die Verfügbarkeit geeigneter Wirte und wahrscheinlich auch die Durchseuchung der jeweiligen Zeckenpopulation mit Pathogenen modifizierend auf die Populationsdynamik aus (Randolph 2004). Zur Pathogenität der Erreger in den Zecken gibt es allerdings bislang nur wenige Informationen.

3.3.5. Interspezifische Interaktionen

Antagonistische Interaktionen zwischen verschiedenen Zeckenarten sind bekannt. In Afrika wird die indigene Art *Rhipicephalus (Boophilus) decoloratus* rapide und komplett durch die kolonisierende, asiatische *R. (B.) microplus* verdrängt (Tonnesen et al. 2004). Nur unter bestimmten klimatischen Bedingungen gelingt es dem invasiven Parasiten nicht, die einheimische Art mit offenbar gleichen Lebensraumsansprüchen (Sutherst, 2001). Überall sonst ist die indigene Spezies nicht konkurrenzfähig. Der Erfolg des überlegenen Konkurrenten basiert auf seiner höheren Reproduktionsrate, die wiederum die Folge eines größeren Blutsaugevermögens ist (Estrada-Pena 2002). Beide Arten paaren sich mit einander, woraus sterile Hybridnachkommen hervorgehen. Davon profitiert dann *R. (B.) microplus*, die Spezies mit der höheren Reproduktionskapazität (Taraschewski 2006). Angesichts dieses Befundes stellt sich für Mitteleuropa die Frage, ob und falls ja, wie *I. ricinus* mit *D. reticulatus* interagieren wird, wenn der derzeitige Ausbreitungstrend von *D. reticulatus* in Deutschland anhält. Die ersten Beobachtungen aus unserer eigenen Arbeitsgruppe lassen noch keine Rückschlüsse zu.

Obwohl man von vielen Arthropoden weiß, dass sie Zecken jagen, gibt es bisher keine Beweise dafür, dass Prädation jemals eine bedeutende Rolle bei der Populationdynamik einer Zeckenart gespielt hat (Samish und Rehacek 1999). Auch Prädation durch Vertebraten scheint eine untergeordnete Rolle zu spielen (Kok und Petney 1993, Petney und Kok 1993, Samish und Rehacek 1999). Der einzige bekannte, auf die Erbeutung von Zecken spezialisierte Räuber ist der Madenhacker in Afrika (Kok und Petney 1993).

Eine Vielzahl von Zecken-Pathogenen ist bekannt. Diese umfassen Bakterien, Pilze, Würmer und parasitoide Insekten (Samish und Rehacek 1999). Jedoch spielen all diese Erreger, soweit uns bekannt, normalerweise nur eine untergeordnete Rolle in der Langzeit-Kontrolle wilder Zeckenpopulationen.

3.3.6. Modelle zur Zeckenverteilung in der Landschaft

Es wurden unterschiedliche mathematische Modelle erarbeitet, um zu beschreiben und zu prognostizieren, wie sich Wetterbedingungen und Wirtsdichte auf die Abundanz der verschiedenen Entwicklungsstadien von Zecken auswirken. Ein erst kürzlich entworfenes Model basierend auf französischen Daten, legt den Schluss nahe, dass die jährlichen Abundanzschwankungen der Nymphen mit der monatlichen Durchschnittstemperatur und der Wahrscheinlichkeit, ob die Larven einen Wirt finden, korreliert sind (Vassallo et al 2000). Leider werden aber keine Daten angeboten, um die Wirtsfindung der Larven quantitativ abschätzen zu können.

Modelle, die auf Vegetations- und Klimafaktoren zugeschnitten sind, die die großskalierte Verbreitung von *I. ricinus* beeinflussen, sind z.T. ausgesprochen brauchbar. Ein solches geostatistisches Model wurde von Estrada-Pena (1999) erstellt. Es basiert auf drei Vegetations-Variablen (Standard-Normal-Abgeleitete-Vegetations-Index-Werte) und vier Temperatur-Variablen. Es ermöglicht eine Prognose zur Eignung eines Habitats für Zecken mit einer Sensibilität von 0,98 und einer Spezifität von 0,92. Ergebnisse, die mit diesem Model erzielt wurden, stimmten jeweils mit den tatsächlichen Nachweisen der Zecken mit nur 4% falsch-positiven und 3% falsch-negativen Befunden fast deckungsgleich überein.

Das von Randolph (2004; Abb. 3) vorgestellte Populationsdynamik-Model, zeigt die Parameter, von denen sich die Anzahl der Zecken, die die nächste Generation erreichen, herleiten. Das Modell definiert die Wahrscheinlichkeit, dass eine individuelle Zecke das

nächste Entwicklungsstadium erreicht oder ein Weibchen Eier ablegt. Viele der im Schema benannten Parameter sind aus meteorologischen Aufzeichnungen verfügbar, z.B. die jeweiligen Temperatur und die Tageslänge. Gleiches gilt für die Überlebensrate der Zecken unter verschiedenen Temperaturen und Luftfeuchtigkeiten (siehe Randolph 2004). Allerdings sind viele andere Parameter wie Wirtsdichte und der Wirtstyp meist unbekannt, so dass eine quantitative Auswertung dieser Modelle in Mitteleuropa bisher nicht möglich war.

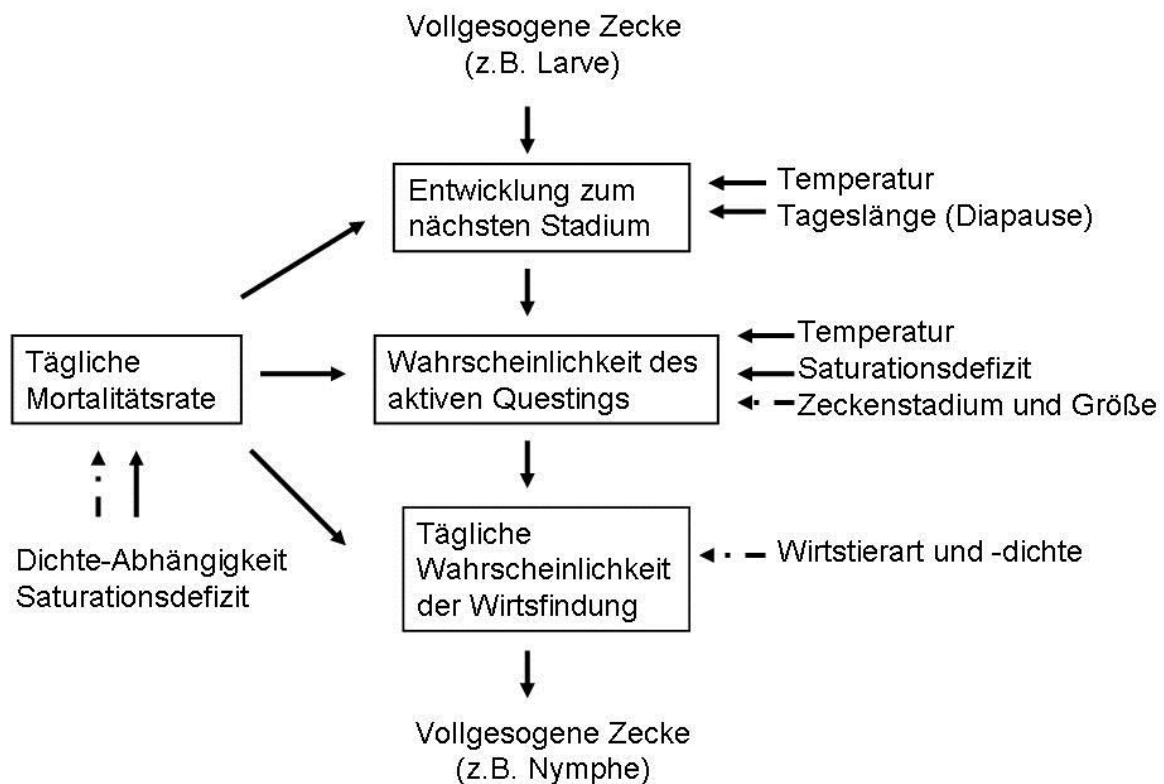


Abb. 3. Zecken-Populations-Model für *Ixodes ricinus* (nach Randolph 2004).

Faktoren, die die in den Boxen angegebenen Prozesse bestimmen, können abiotisch (durchgehende Pfeile) oder biotisch (gestrichelte-Pfeile) sein.

3.4. Zecken-Wirt-Interaktionen

3.4.1. Wirtswahl

Ixodes ricinus parasitiert an den meisten, wenn nicht gar an allen in Deutschland vorkommenden Säugetier-, Vogel- sowie Reptilien-Arten (siehe Anhang 1). Bevorzugte Wirte der Nymphen und Larven sind *Apodemus flavicollis*, *A. sylvaticus*, *A. agrarius*, *Myodes (Clethrionomys) glareolus* und *Microtus arvalis* (Paulauskas et al. 2009). Die Prävalenz und Intensität der Infestation ist hochgradig regional und habitatabhängig (Hubalek und Halouzka

1998, Wielinga et al. 2006, Paulauskas et al. 2009). Am Boden fressende Vögel, wie die Amsel sind in ländlichen Gegenden viel häufiger befallen, als in urbanisierten Gebieten (Gregoire et al. 2002). Sowohl *D. reticulatus* als auch *D. marginatus* nutzen ebenfalls ein breites Spektrum an Säugetieren als Wirte (siehe Anhang 1). Vögel werden dagegen, wenn überhaupt, nur wenig parasitiert. In ihrem natürlichen Lebensraum ist *R. sanguineus* auf Carnivoren der Familie Canidae spezialisiert (siehe Anhang 1). Die Verbreitung anderer, mehr spezialisierter Arten, wie die Fledermauszecke *Ixodes vepertilionis* oder *I. lividus*, welche Uferschwalben befällt, begrenzt sich normalerweise auf die Nist- und Brutlätze ihrer Wirte (siehe Anhang 1).

3.4.2. Wirtsfindung

Die Wirtsfindung wird durch eine Vielzahl an Faktoren beeinflusst. Chemische Attraktanten des Wirtes, wie Kohlendioxid, das in der Atemluft von Wirbeltieren höher konzentriert vorkommt als in der Atmosphäre, ist schon lange als eine solche Substanz bekannt (Garcia 1962, Koch und McNew 1981) und wurde genutzt, um die Populationsdichten von *I. ricinus* zu bestimmen (Gray 1985). Auch durch andere Komponenten der Atemluft wie H₂S, NO, Aceton, Lacton und NH₃ kommt es zu einer Reaktion der Zecke (Steullet und Guerin 1992 a, b, 1994, McMahon und Guerin 2002). Vibrationen können ebenfalls die Wirtsfindungsaktivität auslösen (Belan und Bull 1995). In den meisten Fällen wurden solche Untersuchungen im Labor durchgeführt. Die Effektivität dieser Substanzen, mit Ausnahme von CO₂, unter natürlichen Bedingungen ist nicht bekannt.

Sobald sie sich in einer geeigneten Umgebung befindet, ist es wahrscheinlich, dass einer der oben genannten Stimuli die Zecke von der Präsenz eines potentiellen Wirtes in Kenntnis setzt. Mittels ihrer Pulvilli, welche sich an der Spitze der beiden Vorderbeine befinden, gelangt die Zecke dann auf den Wirt.

Die Wahrnehmung solcher Stimuli erfolgt nur über kurze Distanz. Alle Entwicklungsstadien von *I. ricinus* sind habitatsabhängig, was bedeutet, dass nur die dort vorkommenden oder durchkommenden Wirte befallen werden können.

3.4.3 Wirts-Immunität

Die Fähigkeit der Wirte, eine Immunität gegen Zecken und/oder die von ihnen übertragenen Krankheiten zu entwickeln, ist artspezifisch unterschiedlich (Wickel 1996). In Europa

erlangen Gelbhalsmäuse (*A. flavicollis*) keine Immunität gegen *I. ricinus*, wogegen dies bei Rötelmäusen (*M. glareolus*) der Fall ist, was zu einer geringeren Gewichtszunahme beim Blutsaugen und einer geringeren Überlebensrate der betreffenden Zecken führt (Dizij und Kurtenbach 1995). Zusätzlich weisen beide dieser Nagerarten Unterschiede in ihrer Ansteckungsfähigkeit auf. *A. flavicollis* beherbergen meist mehr infizierte Zecken als *M. glareolus* (Humair et al. 1999).

3.4.4. Immunosuppression

Substanzen im Zeckenspeichel (Salivary Gland Extract - SGE) können eine immunosuppressive bzw. immunomodulierende Wirkung auf den Wirt ausüben. Dabei beeinflussen diese Stoffe sowohl die angeborene als auch die adaptive Immunität (Hannier et al. 2003). SGE von *I. ricinus* kann beispielsweise die Proliferation von Lymphozyten, z.B. die Vermehrung von T-Zellen, hemmen (Barriga 1999, Mejri 2001, Kovar et al. 2001, 2002). *In vitro* wird die Aktivität von T-Killerzellen durch den Speichel von *D. reticulatus* gehemmt (Kubes et al. 1994). Auch SGE von *R. sanguineus* inhibiert die Proliferation von T-Lymphozyten und beeinflusst die antibiotische Aktivität von Makrophagen (Ferreira und Silva 1998). Eine Modulierung des Immunsystems schließt auch die Hemmung von Cytokinen ein. Cytokine sind Botenstoffe, die zwischen den einzelnen Komponenten des Immunsystems vermitteln. Durch die verminderte Produktion von Interleukin 10 (IL 10) und des Tumor-Nekrose-Faktors α (TNF- α) werden B-Zellen gehemmt (Hannier et al. 2004). Die Inhibierung von Cytokinen kann die Übertragung von Pathogenen erleichtern (Kopecký et al. 1999). Durch die Beeinflussung dieses Systems kann *I. ricinus* SGE das Verhältnis von TH1-Zellen (T-Helferzellen) in Richtung TH2-Zellen verschieben (Singh und Girschick 1992). TH1-Zellen steuern hauptsächlich die zelluläre Immunität und so die Eliminierung von mikrobiellen Pathogenen, während TH2-Zellen für die humorale Abwehr zuständig sind, die beispielsweise bei Wurmbefall von Bedeutung ist. Leboulle et al. (2002) haben ein Protein aus dem Speichel von *I. ricinus* isoliert, das sie Iris (*I. ricinus* immunosuppression) genannt haben. Iris hemmt die Entwicklung mehrerer Cytokine, die in Entzündungsreaktionen involviert sind. Dadurch wird die Sensitivität von T-Zellen und Makrophagen verringert und somit die Immunabwehr des Wirtes herabgesetzt.

Das Komplementsystem ist einer der wichtigsten Bestandteile der humoralen Abwehr und umfasst in Wirbeltieren mehr als 30 verschiedene Proteine. SGE von *I. ricinus* unterdrückt

auch dieses System. Diesbezügliche Funde liegen vom Menschen, Rothirsch, Igel und der Haustaube vor (Lawrie et al. 1999, Daix et al. 2007).

3.4.5. Mortalität und Morbidität bei den Wirten

Aufgrund des Blutverlustes, den Zecken bei der Nahrungsaufnahme verursachen, kann das Saugen bei hohen Infestationsraten zu einer Anämie führen. Diese Anämien sind normalerweise hämorrhagisch und regenerativ (Tyler und Cowell 1996). Pfäffle et al. (2009) konnten dies am Europäischen Igel darstellen, bei dem es durch Zecken-verursachten Blutverlust zu einer regenerativen Anämie kommt, die in Perioden mit Kostress (Winterschlaf, Paarungszeit) aufgrund des Energieverlustes eine erhöhte Morbidität bis hin zur Mortalität verursachen kann. Die oft als Folge von Infektionen mit zeckenübertragenen Krankheiten auftretende Anämie lässt sich als Morbiditätsparameter in standardisierter Weise darstellen.

Die Übertragung von Pathogenen kann durch verschiedene Komponenten des Zeckenspeichels erleichtert, bzw. aktiviert werden (Nuttall und Labuda 2004). Dieses Phänomen bezeichnet man als Saliva Activated Transmission (SAT). Es wurde von Erregern wie dem FSME-Virus, *Borrelia* spp. und *Franciscella tularensis* (die Tularämie verursacht), und den Zeckenarten *I. ricinus* und *D. reticulatus* dokumentiert (Labuda et al. 1993, Pechova et al. 2002, Zeidner et al. 2002, Krocoka et al. 2003, Machackova et al. 2006).

Verschiedene Studien haben gezeigt, dass *Babesia canis* (Erreger der caninen Babesiose), übertragen von *D. reticulatus* und *R. sanguineus*, zu Symptomen wie Anorexie, Lethargie, Fieber und abnormalen hämatologischen Befunden führt. Unter Umständen resultiert daraus sogar der Tod der infizierten Hunde (Matjila et al. 2005, Bourdoiseau 2006, Porchet et al. 2007). Morbidität und Mortalität, die durch Zecken verursacht werden, stehen meist in Zusammenhang mit zeckenübertragenen Krankheiten wie FSME oder Borreliose (Korenberg und Likhacheva 2006, Szel et al. 2006, D'Agaro et al. 2009).

3.5 Ökologie der Wirte

Die Wirtspräferenzen der Pathogene und das quantitative Vorhandensein geeigneter Wirte spielen die Hauptrolle bei der Epidemiologie von zeckenübertragenen Krankheiten. Aus menschlicher Sicht fungieren verschiedene Vertebratenspezies als Reservoir und/oder Multiplikator von anthropozoonotischen Pathogenen. Demnach ist die

Wirtspopulationsdynamik eine essentielle Größe zum Verständnis der Epidemiologie von zeckenübertragenen Pathogenen (Ostfeld et al. 1996).

I. ricinus und beide in Mitteleuropa vorkommender *Dermacentor*-Arten nutzen eine Vielfalt an Wirtstieren. Normalerweise saugen Larven und Nymphen an kleineren Wirten wie Nagern Igel oder Hasen. Adulte kommen hauptsächlich auf größeren Wirten wie Rothirsch, Reh oder Wildschwein vor (Anhang 1). Die großen Wirtstiere sind in verschiedenen Hinsicht wichtig. Sie ermöglichen die Vergrößerung der Zeckenpopulation, da viele Weibchen auf einem Tier saugen und somit viele Eier legen können. Außerdem sorgen sie für den Transport der Zecken über größere Distanzen (Wilson et al. 1985, 2008, Chemini et al. 1997). Sie dienen vielen zeckenübertragenen Krankheiten wie FSME oder Borreliose jedoch nicht als Reservoirwirte, sondern als Verdünnungswirte, welche die Übertragung der Erreger unterbrechen (Begon 2008). Allerdings können große Wirtstiere anderen zeckenübertragenen Pathogenen als Reservoirwirte dienen, wie z.B. Rotwild für *A. phagocytophila* (Alberdi et al. 2000).

Die wichtigsten Wirte für zeckenübertragene Krankheiten in Deutschland sind hauptsächlich echte Mäuse wie *A. flavicollis* und *A. sylvaticus* sowie Wühlmäuse wie *M. glareolus*, nicht dagegen synanthrope Arten wie Hausmäuse und Ratten. Nagerpopulationen sind dafür bekannt, großen Fluktuationen zwischen den Jahren zu unterliegen. Die Populationsdichten variieren bis zu hundertfach (Wechsel und Bergstedt 1965, Bäumler 1986). Diese Schwankungen können zyklisch sein, vor allem bei arktischen Spezies wie Lemmingen (Aars und Ims 2002), was bei Nagern in gemäßigten Gegenden jedoch selten der Fall ist (Lima et al. 2002).

Es gibt zwei Hauptfaktoren, die die Populationsfluktuationen bedingen, solche die mit der Dichte der Nagerpopulationen zusammenhängen und dichteunabhängige Faktoren (Krebs 2002). Ein wichtiger dichteabhängiger Faktor ist das Futterangebot: eine große Dichte an Nagern führt zu weniger Futter pro Individuum, was kritisch werden kann, sobald das Futterangebot limitiert ist. Krankheiten und Parasiten stellen einen weiteren dichteabhängigen Faktor dar: eine größere Anzahl von Nagern führt zu erhöhtem Kontakt innerhalb der Population und damit zu einer erhöhten Übertragungsrate. Die größere Dichte an Nagern, zieht einen größeren reproduktiven Erfolg der betreffenden Räuber und damit einen höheren Prädationsdruck auf die Nager nach sich. Dies ist ebenfalls von Bedeutung (Krebs 2002). In Mastjahren, in denen Nahrung im Überfluss zu Verfügung steht, erweist sich das

Nahrungsangebot dagegen als dichteunabhängiger Regulationsfaktor (Ostfeld 1996). Abb. 4 zeigt die wichtigsten Faktoren, die die Populationsdichte von Nagern (und anderen Tieren) beeinflussen.



Abb. 4. Faktoren, die potentiell an der Regulierung der Populationsdichte von Wirtsspezies beteiligt sind (nach Krebs 2002).

Ein weiterer wichtiger Faktor für die Populationsdichte von Nagern ist die Landschaftsnutzung sowohl durch die Land- als auch die Forstwirtschaft (Tabelle 4). Eine Reduktion der Vegetationshöhe und -bedeckung auf landwirtschaftlich genutztem Land führt z.B. zu einer Abnahme der vorhandenen *M. arvalis*-Population (Jacob 2003). Auch die Suburbanisierung und der Straßenbau sind als Einflüsse auf die Verbreitung und Populationsdynamiken von vielen Pflanzen- und Tierarten einschließlich der Nagere bekannt (Tabelle 4) (Fahrig 2003).

Klima kann die Hauptrolle bei der Determination der Größe von Nagerpopulationen spielen (Tabelle 2). Aars und Ims (2002) zeigten, dass Klima die Langzeit-Fluktuationen beeinflusst,

sogar im Populationszyklus bei arktischen Nagern der einem geregelten Muster folgt. Eine hohe Mortalität kann durch sehr niedrige oder ungewöhnlich hohe Temperaturen ausgelöst werden. Wie oben beschrieben ist auch die Zeckendichte mit dem Klima korreliert. In welchem Umfang dies direkt erfolgt oder sekundär durch eine Erhöhung oder Erniedrigung der Wirtstierdichte, bleibt vorerst ungeklärt.

Das Angebot an Nahrung ist ebenfalls als bedeutender, regulierender Faktor für Populationsdichte verschiedener Nager wohlbekannt (Ostfeld und Keesing 2000, Schnurr et al. 2002). Dies gilt auch für Süddeutschland. Bäumler (1986) zeigte, dass sich Populationen von Erdmäusen (*Microtus agrestis*), Rötelmäusen (*M. glareolus*) sowie Gelbhals- und Waldmäusen (*A. flavicollis*, *A. sylvestris*) nach Jahren eines guten Buchsamens- (1982) oder Eichelvorkommens deutlich verdichten. Bergstedt (1965) und Stenseth et al. (2002) zeigten, dass die Wahrscheinlichkeit, dass *M. glareolus*, *A. flavicollis* und/oder *A. sylvaticus* den Winter überleben, mit dem Samenwurf von Buchen und/oder Eichen korreliert ist, während Selas et al. (2002) Populationswachstum bei *M. glareolus* und *A. sylvaticus* beobachteten, das mit hohem Ertrag an Blaubeeren (*Vaccinium myrtillus*), Traubeneichen (*Quercus petraea*) und Fichten (*Picea abies*) zusammenhing. Viele dieser Nagerarten sind in die Zyklen zeckenübertragener Pathogene *Borrelia* spp. und FSME involviert (Ulrich et al. 2009).

Es gibt auch weitere Faktoren, welche die Populationsdichte von Wirtstieren beeinflussen. Man nimmt an, dass Endoparasiten zu erhöhter Mortalität bei Wildschweinen führen (Meynhardt 1978). Ähnlich wie bei Nagern kann auch das Nahrungsangebot die Populationsdichte von großen Wirtstieren beeinflussen: Eicheln und Bucheckern gehören zu der bevorzugten Nahrung von Wildschweinen (Niethammer und Krapp 1986). Interessanterweise ziehen Bachschweine in normalen Jahren durchschnittlich 4,5-5,5 Junge groß, in Mastjahren dagegen 5,5-6,5 (Briederman 1971). Die Populationsdichten von Wildschweinen, Rehen oder Rotwild sind aber auch in hohem Maße von menschlichen Einflüssen wie Jagd oder Winterfütterung abhängig (Niethammer und Krapp 1986).

Die Dichte von Nagerpopulationen, wie bereits am Beispiel von *I. scapularis* im Nordosten der USA erklärt, steht in direkter Beziehung zu der Überlebensrate der Zecken und der Transmissionsrate der Pathogene. Solche Daten sind für europäische zeckenübertragene Krankheiten nicht vorhanden, jedoch ist bekannt, dass Mastjahre zu Dichten von Nagerpopulationen führen, die wiederum in Zusammenhang einen hohen Durchseuchung mit

Hantaviren stehen (Sin et al. 2007, Clement et al. 2009, Tersago et al. 2009). Aus diesem Grund glauben wir, dass auch die Häufigkeit von zeckenübertragene Krankheiten in Deutschland von Mastjahren abhängen.

Tabelle 4: Landschaftliche Nutzung als Einflussgröße auf die Populationsdynamik der Wirte (nach Lindenmayer und Fischer 2006)

Parameter	Definition, Wirkung
Habitatverlust	Verlust von Lebensraum, den eine Spezies zum Überleben benötigt
Habitatdegradierung	Reduktion der Lebensraumqualität, führt zu einer Reduktion der Populationsgröße
Habitataufwertung	Verbesserung der Qualität eines Gebiets, führt zu Populationswachstum
Habitatfragmentierung	Zerschneidung eines zusammenhängenden Habitats in kleinere Teile, Verteilung bzw. Verkleinerung der Population
Habitatverknüpfung	Korridore zwischen Gebietsteilen erlauben eine Migration, vermindern den Effekt der Habitatfragmentierung
Habitatverinselung	Das Separieren einzelner Gebietsteile verhindert Migration, führt zur Ausdünnung der Einzelpopulationen

Eines der Hauptprobleme bei der Untersuchung der **sylvatischen** Epidemiologie von zeckenübertragenen Krankheiten in Europa ist die extrem geringe Wirtsspezifität von *I. ricinus* und die moderat geringe Wirtsspezifität der beiden *Dermacentor* Spezies. Dadurch werden viele Effekte der beschriebenen Faktoren so gegen einander abgepuffert, dass die Erforschung der zeckenübertragenen Krankheiten einer Multivarianzanalyse gleicht, speziell dann, wenn die Erreger ebenfalls wenig wirtsspezifisch sind wie bei den *Borrelia*-Erregern (Rosa et al. 2003).

3.6 Pathogen-Zecken-Wirt-Interaktionen

Wirts-Pathogen Beziehungen sind oft epidemiologisch komplex und für viele Erreger noch nicht ausreichend untersucht. Die Dynamik eines Erregers, der Nager als sylvatische Wirte

nutzt, der aber nicht von Zecken übertragen wird, ist allerdings weitgehend aufgeklärt und soll hier als Beispiel dienen: Ein Ausbruch des Hanta-Virus im Südwesten der USA führte zu einer hohen Sterblichkeitsrate bei den akut infizierten Menschen (zunächst 70%, später 40%). Damit gingen hohe Populationsdichten von Nagetieren einher (darunter *Peromyscus maniculatus*, dem wichtigsten Wirt im Zusammenhang mit der Epidemiologie von zeckenübertragenen *Borrelia*-Arten in Nordamerika) (Yates 2002). Diese um 3-30% höheren Populationsdichten als im vorhergehenden Jahr, hingen mit einem starken Pflanzenwachstum (gemessen als **NDVI**) und somit einer hohen Samenproduktion zusammen, was wiederum als Folge der starken Regenfällen während des **El Nino** 1992 gesehen wurde (Yates et al. 2002). Nachdem sich die Regenfälle normalisiert hatten, sanken sowohl die Dichte der Nagetiere als auch die Anzahl menschlicher Infektionen. Während der **La Nina** Phase setzte die übermäßigen Regenfälle aus und die Nagetierpopulationen wurden fast vollständig dezimiert und die Infektionsraten bei Menschen gingen dementsprechend zurück. Dieses scheinbar vorhersehbare Muster wurde einige Jahre später unterbrochen, als die Populationsdichten von Nagetieren relativ gering waren, die Infektionen bei Menschen aber dennoch beträchtlich anstiegen. In diesem Fall könnte der Anstieg von Infektionen bei Menschen mit dem sehr hohen Anteil infizierter Nager in Verbindung gebracht werden. Die starke Ausdünnung der Population hatte zum Tod der nicht empfängliche Nager mit Antikörpern gegen den Virus geführt, während die jetzt vorherrschenden Jungtiere empfänglich für neue Infektionen waren (Yates et al. 2002). Dieses Beispiel zeigt Zusammenhänge auf, die entscheidend sind, um die Dynamik von zeckenübertragenen Krankheiten besser zu verstehen: Eine Übertragung ist abhängig von der Größe der Wirtspopulationen und dem darin enthaltenen Prozentsatz an infizierten Tieren.

Eine **Meta-Analyse** zusammen mit Freilandversuche von Perkins et al. (2006) ergab, dass ein Populationsrückgang von Wild die Anzahl der mit FSME infizierten Zecken erhöhte. Dies lässt sich darauf zurückführen, dass Nymphen dann eher auf anderen, empfänglichen und dementsprechend potentiell infektiösen Wirten wie Nagern saugen.

Wie oben erwähnt, ist auch in Europa die Wahrscheinlichkeit am Hantavirus zu erkranken mit Mastjahren und dem danach erfolgten Anstieg der Anzahl von Wirtstiere verbunden. Die Dichte der Populationen geeigneter Wirte und deren Anteil an empfänglichen Individuen (Jungtieren) reguliert sich also durch eine kausale Abfolge von Faktoren:

Klima → Samen/Saatproduktion → Fortpflanzungserfolg. Die Dichte der Wirte, die einen

Verdünnungseffekt auf die Abundanz der Erreger ausüben, muss dagegen nicht diesem Schema folgen sondern kann verschiedene andere Ursachen haben.

Von hoher Bedeutung ist auch, dass geeignete Wirte in ihren Populationen sowohl substantielle Unterschiede in der Prävalenz, als auch in der Intensität der Infektion mit Zecken aufweisen. Dies ist teilweise vom Habitat das bewohnt wird, der Populationsstruktur und vom Geschlecht des Wirtes abhängig (Sinski et al. 2006). So sind männliche *A. flavicollis* und *M. arvalis* stärker mit Zecken infiziert als weibliche, was bei *M. glareolus* nicht der Fall ist. Bei *A. flavicollis* sind ältere Tiere am stärksten infiziert. Obwohl *I. ricinus* der Hauptvektor für eine Vielzahl von Pathogenen ist, weicht die Reservoir-Kompetenz bei den unterschiedlichen Wirten von einander ab (Tabelle 1, Kurtenbach et al. 1998a, b). Dies kann zu lokalen Unterschieden in der Pathogenprävalenz führen (Etti et al. 2003, Paulauskas et al. 2008).

3.7 Bezug zum Menschen

Menschlicher Kontakt zu Zecken steht in direkter Verbindung mit der Aktivität des Menschen in Gebieten, die von Zecken und deren Wirten bewohnt sind. Die Wahrscheinlichkeit, von einer *I. ricinus* Zecke gebissen zu werden und sich dabei z.B. mit Borreliose zu infizieren, hängt – wie oben dargestellt und diskutiert – vom Klima, dem Landschaftstyp, der dort vorherrschenden Biodiversität und anderen Faktoren ab. Das Risiko eines Zeckenbisses ist somit orts- und zeitabhängig.

Es gibt keine Studien darüber, dass sich die Geschwindigkeit der Bewegung von Menschen auf die Wahrscheinlichkeit, von Zecken befallen zu werden, auswirkt. Wie bereits erwähnt sind die wichtigen Stimuli eher Geruch und Erschütterung, und der Übergang auf einen Wirt ist dann ein automatischer Vorgang. Die Art, wie sich Menschen im Habitat verhalten, spielt dennoch eine wichtige Rolle in Bezug auf das Risiko, Wirt einer Zecke zu werden und im Hinblick auf die Übertragungsdynamik verschiedener zeckenübertragener Krankheiten (Stoddard et al. 2009). Die Art der Aktivitäten ist ein wichtiger Faktor die der Wahrscheinlichkeit, mit einer Zecke in Kontakt zu kommen, determiniert. So sind Waldarbeiter und Jäger eher abseits der Wege im Gebüsch unterwegs, wo Zecken vorhanden sind als eher häuslich orientierte Menschen oder solche, die in innerstädtischen Gebieten wohnen (Rath et al. 1996, Fingerle et al. 1997).

3.7.1. Haustierbesitzer (Hunde, Tauben)

Tauben, Taubenschläge und Brutkolonien von Stadtauben sind häufig mit der Lederzecke *Argas reflexus* infiziert. Diese Art ist wirtsspezifisch und befällt nur selten Menschen. Ausnahme ist wenn die Tauben von Taubenschlägen oder Gebäuden entfernt wurden. Aufgrund des Fehlens des natürlichen Wirts werden dann auch Menschen gebissen. Solche Bisse können zu allergischen Reaktionen bis hin zum anaphylaktischer Schock führen (Dautel et al. 1999, Hilger et al. 2005, Kleine-Tebbe et al. 2006). Es gibt allerdings keine Hinweise darauf, dass *A. reflexus* Pathogene auf den Menschen überträgt.

Die braune Hundezecke *R. sanguineus*, kommt in Mitteleuropa nur auf Haushunden vor, da das hiesige Klima keinen kompletten Entwicklungszyklus in der Natur erlaubt (Anhang 1, Walker et al. 2000). Die mediterrane Art wird ab und zu in Hundehütten, Zwingern und menschlichen Unterkünften, in denen sich Hunde aufhalten, gefunden. Diese Zecken wurden wahrscheinlich von Urlaubern auf ihren Hunden aus wärmeren Gebieten mitgebracht (Glaser und Gothe 1998, Gothe und Hamel 1973a, b). Allerdings gibt es auch Berichte über Hunde, die Mitteleuropa nie verlassen haben und nach Besuchen in infizierten Häusern ebenfalls infiziert wurden (Gothe 1968). Normalerweise befällt diese Zecke den Menschen nicht, da sie Hunde als Wirte bevorzugt, jedoch gibt es Berichte über starken Befall, wobei es dann ebenfalls zu menschlichen Infektionen kam. Durch diesen Weg wurde das nach einem Urlaub in Südeuropa durch einen Haushund in die Schweiz eingeschleppt Mittelmeerfleckfieber auf vier Mitglieder der betreffenden Familie übertragen (Peter et al. 1984).

Durch die menschliche Reiseaktivität könnten bald auch andere Zeckenarten, wie *R. turanicus*, die weniger wirtsspezifisch sind, eingeführt werden und als Vektor für Humanpathogene dienen. Estrada-Pena und Venzal (2007, siehe auch Estrada-Pena 2008) vermuteten, dass Arten wie *R. bursa* und *D. marginatus* sich von ihren bisher vorherrschend mediterranen Verbreitungsgebieten in Richtung Mitteleuropa ausbreiten werden. *D. marginatus* kommt bereits in geringer Dichte in Deutschland vor (Baden-Württemberg, siehe Anhang 1), *R. bursa* bisher noch nicht. Letztere Art ist Vektor einer Vielzahl von Pathogenen von Tieren (*Anaplasma marginale*, *Babesia bigemina*, *B. bovis* von Rindern, *B. caballi* und *B. equi* von Pferden, *A. ovis*, *B. motasi*, *B. ovis* und *Theileria separata* von Schafen) aber auch für das Krim-Kongo hämorrhagische Fieber des Menschen (siehe Walker et al. 2000).

Wir konnten keine Studie finden, in der untersucht wurde, ob sich Diabetes, Geschlecht oder Alter des Menschen auf die Wahrscheinlichkeit, von einer Zecke gebissen zu werden auswirkt. Dies ist ein Bereich, der näherer Untersuchung bedarf. Es gibt ein Studie aus Deutschland, die zeigt, dass mehr weibliche Zecken, die mit *B. burgdorferi* sensu lato infiziert sind, auf Menschen gefunden werden, als in Anbetracht der Zeckenprävalenz in natürlichen Gebieten erwartet worden ist (Faulde und Robbins 2008). Die Autoren gehen davon aus, dass infizierte Zecken ihre Wirte schneller finden.

3.7.2. Vorsichtsmaßnahmen

Um einen Befall mit Zecken zu vermeiden, wird vor allem zur Meidung bekannter Vektorhabitats geraten. Das Tragen langärmeliger Oberteile und langer Hosen wird empfohlen, um das Vordringen von Zecken zur Haut zu verhindern. Zur Befallsprävention gehören auch die Nutzung von Textil- und Körperrepellents und ein Körpercheck spätestens zwei Stunden nach Begehung eines fraglichen Gebietes (Estrada-Pena und Jongejan 1999, Faulde und Hoffmann 2001). Die Entfernung einer Zecke in den ersten 24-32 Stunden nach erfolgtem Anstich reduziert die Übertragungswahrscheinlichkeit von z.B. Borreliose. Bei vorliegendem Babesiose- bzw. FSME-Risiko sollte die Entfernung bereits nach zwei Stunden, besser nach 30 Minuten erfolgen (Faulde und Hoffmann 2001).

Zwar sind Zecken auf heller Kleidung leichter zu entdecken (Kahl 1996), jedoch hat eine Studie aus Schweden ergeben, dass Nymphen von *I. ricinus* Menschen mit heller Kleidung bevorzugen (Stjernberg und Berglund 2005). Dazu mussten mehrere Probanden abwechselnd in heller und in dunkler Kleidung identischer Fabrikate durch ein zeckeninfiziertes Gebiet laufen. Dabei wurden 62% der Zecken auf der hellen Kleidung gefunden und nur 38% auf der dunklen.

3.7.2. Repellents

In der Literatur werden verschiedene synthetische und biologische Stoffe zur Abwehr von Zecken beschrieben, die meist auch im Handel erhältlich sind.

- Permethrin: Permethrin ist ein Insektizid/Akarizid aus der Gruppe der Pyrethroide, das als Textilrepellent verwendet wird. Faulde et al. (2008) haben die Wirkung von Permethrin imprägnierten Kampfuniformen der Bundeswehr auf *I. ricinus*-Zecken getestet. Die imprägnierte Kleidung gewährte einen Schutz vor Zecken von 95,5 %. 65% Permethrin wird auch als Zeckenschutz für Hunde verwendet. Bei den

behandelten Hunden war das Risiko einer Zeckeninfektion in der ersten Woche nach Applikation zu 90% reduziert, nach sechs Wochen noch zu 48% (Endris et al. 2000).

- DEET: Diethyltoluamid ist in einigen im Handel erhältlichen Fertigpräparaten enthalten, die auf die Haut aufgetragen werden und gegen den Befall mit verschiedenen Arthropoden schützen sollen. Durch die Verwendung eines auf die Haut aufgetragenen Fertigpräparates mit den Inhaltsstoffen DEET und EBAAP (Ethylbutylacetylaminopropionat) kann das Risiko eines Zeckenbisses erheblich gesenkt werden (Staub et al. 2002). Erwachsene dürfen DEET in einer Konzentration von 30% verwenden, bei Kindern sollten Mittel mit einem Wirkstoffanteil von über 7,5% allerdings vermieden werden, außerdem sollten nur maximal 20% der Hautoberfläche behandelt werden. Schwangeren und Stillenden wird die Anwendung nicht empfohlen (Faulde 2001). Bei Kombination von DEET-haltigen Mitteln und Permethrin imprägnierter Kleidung wird ein erheblich größerer Effekt erzielt als bei alleiniger Anwendung von DEET (Faulde 2001).
- Dodekansäuren: Dodekansäuren sind natürlich vorkommende Carbonsäuren, die z.B. in Kokosöl oder Palmkernöl vorhanden sind. Schwantes et al. (2008) haben die Wirksamkeit von sieben verschiedenen Säuren auf ihre Wirksamkeit als Zeckenrepellent (*I. ricinus*) getestet. Alle sieben zeigten eine protektive Wirkung von zwischen 81,4 bis 100%.
- Mönchspfeffer: Mehlhorn et al. (2005) untersuchten über 70 Pflanzenextrakte auf ihre Wirksamkeit als Repellent gegen Zecken. Dabei kam heraus, dass ein Extrakt aus den Samen des Mönchspfeffers (*Vitex agnus castus*) abweisend auf *I. ricinus* und *R. sanguineus* wirkt. Die Dauer der Wirksamkeit beträgt mindestens sechs Stunden.
- Teebaumöl: Öl des Teebaumes (*Melaleuca internifolia*) wurde in unterschiedlichen Konzentrationen auf seine abweisende Wirkung gegen Nymphen von *I. ricinus* getestet (Iori et al. 2005). Zecken, die dem Teebaumöl für 30 oder 60 min ausgesetzt waren, reagierten nicht auf das Öl. Erst nach 90 min konnte eine Verringerung der Überlebensrate festgestellt werden, aber keine abweisende Wirkung.
- MyggA Natural: MyggA (Bioglan, Lund, Sweden) ist ein im Handel erhältliches Repellent gegen Arthropoden. Ein wichtiger Inhaltsstoff ist 30% Zitroneneukalyptusöl (aus *Corymbia citriodora* Blättern). In geringen Anteilen sind Öle von *Lavandula angustifolia* und *Pelargonium graveolens* enthalten. In Laborstudien zeigte MyggA Natural eine 100%ig abweisende Wirkung gegen Nymphen von *I. ricinus* (Jaenson et

al. 2006). Auf Kleidung konnte die abweisende Wirkung auch im Freiland festgestellt werden (Garboui et al. 2006).

- Citridiol, gewonnen aus dem Zitroneneukalyptus, zeigt auch alleine angewandt eine schützende Wirkung. Der durchschnittliche Befall reduzierte sich nach der Anwendung des Repellents von 1,5 auf 0,5 Zecken pro Proband (Gardulf et al. 2004).
- Basilikum: Eugenol, gewonnen aus Basilikum (*Ocimum basilicum*) zeigt die gleiche zeckenabweisende (*I. ricinus*) Wirkung wie DEET (Del Fabbro und Nazzi 2008).

In einer Studie aus Schweden wurden Inhaltsstoffe aus verschiedenen Pflanzen (*C. citriodora*, *Lavandula angustifolia*, *Pelargonium graveolens*, *Hyptis suaveolens*, *Salvadora persica*, *Pistacia atlantica*, *Juniperus phoenicea*) positiv auf ihre zeckenabweisende Wirkung getestet (Garboui 2008). Die wirksamen Bestandteile waren unter anderem α -Pinen, β -Pinen, Sabinen, Myrcen, α -Phellandren, β -Phellandren, 4-Caren, γ -Terpinen, β -Caryophyllen und Humulen. Von all diesen Pflanzenbestandteilen ist bekannt, dass sie auch eine insektenabweisende Wirkung haben.

4. Bekämpfung von Zecken und zeckenübertragenen Krankheiten

Zeckenübertragene Krankheiten sind schwer zu kontrollieren (Piesman und Eisen 2008). Abb. 5 zeigt ein Diagramm über mögliche Strategien zur Kontrolle von zeckenübertragenen Krankheiten. Die meisten haben wir oben diskutiert. Im folgenden Abschnitt konzentrieren wir uns insbesondere auf Impfstoffe zur Zeckenkontrolle sowie ökologisch vertretbare Kontrollmethoden.



Abb. 5. Strategien zur Kontrolle zeckenübertragener Krankheiten (nach Piesman und Eisen 2008)

Eine Impfung des Menschen gegen FSME hat sich als wirksam erwiesen und bietet somit Schutz in FSME-Risiko-Gebieten (Loew-Baselli et al. 2006). Im Falle von *B. burgdorferi* sensu stricto gibt es mehr Schwierigkeiten. Aufgrund von zurückgehenden Verkaufszahlen und Angst vor Nebenwirkungen wurde ein in Nordamerika entwickelter Impfstoff gegen Borreliose bereits nach drei Jahren wieder vom Markt genommen (Nigrovic und Thompson 2007). Allerdings wird an neuen, verbesserten Impfstoffen gearbeitet (Brown et al. 2005). Im Gegensatz dazu gibt es keine wirksame Impfung gegen *B. burgdorferi* sensu lato, also keine, die gegen alle in Mitteleuropa vorkommenden *Borrelia*-Arten wirkt.

In Baden-Württemberg ist die Situation bezüglich der Zeckenkontrolle besonders schwierig. Sowohl *I. ricinus* als auch *Dermacentor* Arten haben ein weites Wirtsspektrum, bei dem verschiedene Wirtsarten als Reservoirwirte für *Borrelia* spp. und FSME fungieren. Viele

dieser Wildtiere wie der Igel sind durch das Gesetz geschützt. Bei anderen handelt es sich um weit verbreitete, häufige weitverbreitete Arten wie die Rötelmaus, was deren längerfristige Kontrolle fast unmöglich macht. Auch die Zeckenart *I. ricinus*, kommt in fast allen Habitaten in Baden-Württemberg vor, in Wäldern, an Waldrändern, in Gebieten mit Sträuchern und niedriger Vegetation und in Streuobstwiesen, in ländlichen, periurbanen und urbanen Gebieten. Außerdem können *Ixodes*-Arten schnell durch Vögel aus durchseuchten Biotopen in nicht infizierte Gebiete eingeschleppt werden (Scott et al. 2008).

Jede größere Kontrollmaßnahme müsste große Gebiete abdecken, wodurch eventuell andere Arten negativ beeinflusst würden. Jegliche Kontrollen, würden nur kurzfristig funktionieren, da die Wirte in den entsprechenden Gebieten präsent blieben oder in benachbarte Gebiete abwanderten und die Zecken dorthin mitnähmen. Auch eine langfristige, lokale Ausrottung eines Wirtes wäre mit beständigen Kosten für die Bekämpfungsmittel verbunden. Zusätzlich würde die Anwendung von Akariziden in großem Maßstab eine verheerende Auswirkung auf die lokale Fauna haben, da Akarizide nicht spezifisch auf Zecken wirken, sondern auch nützliche bzw. geschützte Arthropodenarten dezimieren (Ashley et al. 2006). Eine lokale Anwendung von Akariziden in Gärten kann jedoch erfolgreich sein (Piesman und Eisen 2008). Auch das Entfernen von Sträuchern und Unterholz, welche ein potentielles Habitat für Nagetiere darstellen kann sich positiv auswirken. Ein solcher Aufwand lohnt sich normalerweise jedoch nur kurzfristig und muss ständig wiederholt werden. In dem weiter vorne erwähnten Garten in Rastatt müsste man das Bambuswäldchen entfernen, in dem die Stare übernachten.

Seit ungefähr zehn Jahren werden biologische Methoden zur Zeckenbekämpfung geprüft und auch schon vereinzelt zur Anwendung gebracht (Samish 2000, Strasser et al. 2007, Hartelt et al. 2008). Laborversuche zur Kontrolle mit Pilzen (Hartelt et al. 2008), parasitischen Nematoden (Hartelt et al. 2008) und Parasitoiden (Samish et al. 2004) wurden erfolgreich durchgeführt, und es gibt auch Anzeichen, dass einige dieser Kontrollorganismen in freier Natur zu einer Ausdünnung von Zeckenpopulationen führen können (Samish und Rehacek 1999). Neben dem Einsatz von Bakterien, Nematoden, und parasitischen Wespen wird vor allem der Einsatz der insekzentötenden Pilze der Gattungen *Metarhizium* und *Beauveria* favorisiert (Ostfeld et al. 2006). Obwohl diese potentiellen Antagonisten schon längere Zeit bekannt sind, wurden bis heute allerdings nur vereinzelt Studien zur nachhaltigen biologischen Kontrolle von Zecken durchgeführt. In den Laborexperimenten haben sich die

entomopathogenen Pilzarten *Metarhizium anisopliae* und *Beauveria bassiana* als sehr virulent gegenüber Zecken erwiesen. In Arbeiten von Hartelt et al. (2008) wurden verschiedene Stämme von *Metarhizium anisopliae* (fünf Stämme), *Beauveria bassiana* (drei Stämme) und *Paecilomyces fumosoroseus* (zwei Stämme) auf ihre Wirksamkeit in der Bekämpfung von Zecken überprüft. Vor allem *M. anisopliae* zeigte eine hohe Wirksamkeit gegen Zecken. Dabei reagierten die verschiedenen Entwicklungsstadien der Zecken unterschiedlich auf die verabreichten Pilzporen. Nüchterne Larven erwiesen sich als deutlich empfindlicher als nüchterne Nymphen, was auch in anderen Laborstudien bestätigt werden konnte (Kaaya 2000, Samish et al. 2001, Gindin et al. 2002).

Die Kontrolle von Zeckenpopulationen im Freiland scheint mit den beschriebenen Pathogenen allerdings wenig aussichtsreich, da die Zielspezies im Habitat zerstreut vorkommt. Außerdem birgt die biologische Bekämpfung auch einige Gefahren, da nicht nur die Zielorganismen negativ tangiert werden können (Ginsberg et al. 2002). Nahrungsketten sind so komplex, dass etwaige Veränderungen nicht vorhersehbar sind, so dass eine natürliche Stabilität bzw. Dynamik verändert werden könnte, ohne die Konsequenzen zu kennen. Die Pilzeinbringung kann einen stark negativen Einfluss auf die Ökologie des betreffenden Gebietes haben. Es gibt zahlreiche Beispiele über den Schaden, die negativ verlaufene Biokontrollversuche verursacht haben (Miller und Aplet 1993, Simberloff und Stiling 1996). Sehr artspezifische Mittel sind eher vertretbar: Bei der alljährlichen Ausbringung von Toxinen des *Bacillus thuringiensis israelensis* (BTI) zur Stechmückenbekämpfung (z.B. im Rheingraben) wurden bisher nur wenige negative Auswirkungen auf Nicht-Ziel Organismen oder die betreffenden Biozönosen verzeichnet (Lacey 2007), obschon Naturschützer in Deutschland einen negativen Einfluss auf die Dichte der lokalen Schwalbenpopulationen diskutieren.

Manche der erwähnten Zeckenpathogene sind bereits natürlich in Zeckenhabitaten vorhanden. So kommt *M. anisopliae* natürlich im Boden vor, ist aber nicht nur gegen Zecken pathogen sondern hat auch auf sieben Insektenordnungen einen negativen Einfluss (Zimmermann, 1993). Es ist außerdem aus Nordamerika bekannt, dass der Parasitoid *Ixodiphagus hookeri* Populationen von *I. scapularis* ausdünnen kann, dass aber eine bestimmte Zeckendichte vorhanden sein muss, damit sich der Parasitoid überhaupt etablieren kann (Stafford et al.

2003). Die hier aufgeführten und diskutierten Befunde verdeutlichen, dass wir von einem etablierten, vielseitig überprüften Verfahren zur Bekämpfung von Zecken noch weit entfernt sind.

Da biologische Kontrollstrategien gegen Zecken bisher nicht zufriedenstellend sind und es an der Entwicklung von effektiven Impfstoffen gegen Borreliose weiterhin mangelt, erscheint es sinnvoll, andere Faktoren zu untersuchen, die den Schutz der menschlichen Bevölkerung zum Ziel haben. Ein gewisser Schutz vor Zeckenbissen und den dadurch übertragenen Krankheiten kann durch ein verbessertes Wissen über die zeitliche und räumliche Verteilung der Zeckenarten und Pathogene erreicht werden. Dies würde auf Folgendem basieren:

1. Einem detaillierten Wissen über die Habitatpräferenzen der wichtigsten Zeckenarten. Die Informationen sollten auf einer quantitativen Zeckensammlung in freier Natur und auf GIS Analysen basieren. Die sollte mit den parallel erhobenen Infektionsraten der Zecken mit Humanpathogenen korreliert werden. Die Untersuchungen müssen monatlich durchgeführt werden über einen Zeitraum von mindestens 5 Jahren, um genug Daten zu erhalten, die auch natürliche oder anthropogen bedingte Veränderungen einschließen. Ziel: Aufklärung der Bevölkerung, darüber welche Gebiete zu meiden sind.
2. Einem detaillierten Wissen über Zecken- und Wirtspopulationsdynamiken und wie sie miteinander verbunden sind. Dies sollte wiederum mit den Infektionsraten von Zecken mit Humanpathogenen korreliert werden. Solche Studien müssen in ausgewählten, bekannten Habitaten durchgeführt werden. Ziel: Information darüber, welche Jahre bezüglich der Infektion des Menschen, risikoreich sind.

5. Abschluss

Die Aussagekraft fast aller europäischen Publikationen, die die Dynamik und Kontrolle von Zeckenpopulationen und zeckenübertragener Krankheiten behandeln, ist äußerst zweifelhaft. Erstens basieren diese Arbeiten hauptsächlich auf Korrelationen zwischen Zecken und Umweltfaktoren (z.B. Perret et al. 2000), wobei Korrelationen keine Kausalität darstellen können. Zweitens wird die wahre Komplexität der Situation nicht ausreichend berücksichtigt. So werden Veränderungen in der Dichte von Wirtspopulationen und ob diese durch klimatische Faktoren bedingt sind oft ignoriert (z.B. Biletska et al. 2008). Drittens wurden die meisten Studien nur kurzfristig durchgeführt und berücksichtigen somit nicht die natürliche

Variabilität über mehrere Jahre (z.B. Gassner et al. 2008). Das Vernachlässigen dieser Faktoren ist verständlich, da z. B. die langfristige Untersuchung einer Säugetierpopulation aufwändig ist. Somit war es für Europa bisher nicht möglich, ein befriedigendes Modell für zeckenübertragene Krankheiten zu erarbeiten, da das Wissen über die Beziehung zwischen Zecken und Wirtspopulationen fehlt (siehe Ostfeld et al. 2001). Aufgrund der beschränkten Sichtweise konnten bisher für Europa keine akzeptablen Modelle zur Ausbreitung von zeckenübertragene Krankheiten angeboten werden. Die dennoch veröffentlichten Modelle widersprechen den Situationen, die aktuell beobachtet werden. Der vorhergesagte Rückgangs des FSME-Virus aufgrund klimatischer Faktoren widerspricht beispielsweise der tatsächlichen derzeitigen Ausbreitung des Virus in Europa (Randolph und Rogers 2000).

Randolph (2004) schrieb: “If recorded climate changes cannot yet satisfactorily explain the temporal and spatial patterns of tick-borne disease change in Europe, the impact of biotic factors, such as increases in deer abundance and changing habitat structure...demand more detailed quantitative analyses.” Diese Einschätzung wird durch die Arbeiten von Ostfeld und Koautoren über *I. scapularis* im Osten der USA unterstützt. Es wurde hier deutlich gezeigt, dass Korrelationen mit Umweltvariablen wie Temperatur und Vegetation nicht ausreichend sind, um Zeckendichte und die Prävalenz zeckenübertragener Krankheiten vorauszusagen. Wirtspopulationen und Faktoren, welche diese beeinflussen, müssen bei allen Überlegungen ebenfalls berücksichtigt werden, da sie von äußerster Wichtigkeit sind, wenn man Zecken-Pathogen-Dynamiken vorhersagen will (Ostfeld et al. 1996, 2001, 2006).

6. Empfehlungen für zukünftige Arbeiten

Großflächige Verteilung:

Es ist sehr wichtig, einen allgemeinen Überblick über die Verbreitung der verschiedenen Zeckenarten (*I. ricinus*, *D. marginatus* und *D. reticulatus*) in Baden-Württemberg zu erhalten. Mit Hilfe von **Geographischen Informationssystemen** (GIS) können anschließend Faktoren und Parameter bestimmt werden, die mit der Präsenz oder der Abwesenheit der Zeckenarten einhergehen, ähnlich wie das von Estrada-Pena in Spanien getan wurde. Auf diese Weise lassen sich die von Zecken besiedelte Gebiete als auch jährliche Änderungen in der Zeckenverteilung bis hin zum Auftreten von Hotspots der invasiven Auwaldzecke *D. reticulatus* lokalisieren und quantifizieren. Schließlich würde sich die Möglichkeit eröffnen, Karten über Zeckenverbreitung im Internet zu präsentieren und somit der Öffentlichkeit

zugänglich zu machen. Parallel dazu sollten auch auffällige hohe Pathogenprävalenzen in den Zecken geortet und bekannt gemacht werden.

Lokale Dispersion und Populationsdynamiken:

Über *I. ricinus* und *D. reticulatus* sollte in Baden-Württemberg eine detaillierte Studie an mindestens sechs verschiedenen, häufig anzutreffenden Habitatstypen über einen Zeitraum von vier bis fünf Jahren durchgeführt werden. Der Zeitraum ist so gewählt, dass eine Mindestmenge an Daten erhalten werden kann, um Vergleiche zwischen den Jahren ziehen zu können und Umweltfaktoren wie klimatische Parameter und Vegetationsparameter (--> Mast) mit einzubeziehen. Monatlich sollte einmal „geflaggt“ werden, um die Dichte aller Stadien der Zecken zu bestimmen. Zusätzlich sollte die Befallsintensität auf ausgewählten Wirten untersucht werden. Für jedes Habitat und jeden Habitatstypus müssen Prävalenzen der Krankheitserregern (vor allem *Borrelia* spp., aber auch andere Pathogene wie FSME oder *Anaplasma*) erfasst werden, um zu ergründen welche Habitate und Umweltfaktoren mit einer hohen Dichte von infizierten Zecken verbunden sind. Zusätzlich sollten detaillierte Informationen zu Nagern, wenn möglich auch zu Großwild, aus den untersuchten Gebieten gesammelt werden. Dies ist in Anbetracht der engen Verbindung zwischen Mastjahren, Nager-Zyklen und Infektionen des Menschen ein wichtiger Punkt.

Langzeitziele:

- Erstellung einer detaillierten Karte von zeckeninfizierten Gebieten in Baden-Württemberg. Ziel ist es, mögliche Veränderungen in der Verbreitung bzw. Abundanz von Zeckenarten zu erfassen.
- Charakterisierung epidemiologischer Zyklen von zeckenübertragenen Krankheiten und ihren Bezug zu bestimmten Habitaten.
- Klärung der Rolle von Nagetierpopulationen im Hinblick auf menschliche Infektionen mit zeckenübertragenen Krankheiten, insbesondere mit *Borrelia* spp..

7. Danksagung

Wir möchten uns bei Dr. Lise Gern von der Universität von Neuchâtel bedanken, die uns durch wichtige Informationen unterstützt hat.

8. Literatur:

- Aars J, Ims RA (2002) Intrinsic and climatic determinants of population demography: the winter dynamics of tundra voles. *Ecology* 83: 3449-3456
- Alberdi MP, Walker AR, Urquhart KA (2000) Field evidence that roe deer (*Capreolus capreolus*) are a natural host for Ehrlichia phagocytophila. *Epidemiol Inf* 124: 315-323.
- Alekseev AN, Dubinina HV (2000) Abiotic parameters and diel and seasonal activity of *Borrelia*-infected and uninfected *Ixodes persiculatus* (Acarina: Ixodidae). *J Med Entomol* 37: 9-15
- Anderson RM, May RM (1991) Infectious diseases of humans: dynamics and control. Oxford University Press, Oxford
- Arthur DR (1963) British ticks. Butterworths, London
- Ashley JL, Ames HD, Lewis EE, Brewster CC, Huckaba R (2006) Toxicity of three acaricides to *Tetranychus urticae* (Tetranychidae: Acari) and *Orius insidiosus* (Anthrocoridae: Hemiptera). *J Econ Entomol* 99: 54-50
- Bäumler W (1986) Population dynamics of wood inhabiting rodents in different regions of Bavaria. *Anz Schaedlingsk Pflanzenschutz Umweltschutz* 59: 112-117
- Balashov YS (1972) Bloodsucking ticks (Ixodoidea), vectors of disease of man and animals. *Misc Publ Entomol Soc Am* 8: 163-376
- Barbour AG, Fish D (1993) The biological and social phenomenon of Lyme disease. *Science* 260: 1610-1616
- Barriga OO (1999) Evidence and mechanisms of immunosuppression in tick infestations. *Genet Anal-Biomol E* 15: 139-142
- Bauch RJ, Lübke D (1990) Lebensbedrohliche Komplikationen durch *Argas reflexus* (Ixodoidea, Argasidae). *Z gesamte Hyg* 36: 308-311
- Baumgarten BU, Röllinghof M, Bogdan C (1999) Prevalence of *Borrelia burgdorferi* and granulocytic and monocytic *Ehrlichia* in *Ixodes ricinus* ticks from Southern Germany. *J Clin Microbiol* 37: 3448-3451
- Beelitz P, Wild D, Wild S, Pfister K (2008) Aktuelles zu *Babesia-canis*-Infektionen bei Hunden in Bayern und Baden-Württemberg. *Kleintierpraxis* 7: 88-94.
- Begon M (2008) Effects of host diversity on disease dynamics. In: Ostfeld RS, Keesing F, Eviner VT (eds) *Infectious disease ecology: effects of ecosystems on disease and of disease on ecosystems*. Princeton University Press, Princeton

- Belan I, Bull CM (1995) Host-seeking behaviour by Australian ticks (Acari: Ixodidae) with differing host specificities. *Exp Appl Acarol* 19: 221-232
- Bennet L, Halling A, Berglund J (2006) Increased incidence of Lyme borreliosis in Southern Sweden following mild winters and during warm, humid summers. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 25: 426-432
- Bergstedt B (1965) Distribution, reproduction, growth and dynamics of the rodent species *Clethrionomys glareolus* (Schreber), *Apodemus flavicollis* (Melchior) and *Apodemus sylvaticus* (Linné) in southern Sweden. *Oikos* 16:132-160
- Bertrand MR, Wilsn ML (1996) Microclimate-dependent survival of unfed adult *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) in nature: life cycle and study implications. *J Med Entomol* 33: 619-627
- Biletska H, Podavalenko L, Semenyshyn O, Lozynskij I, Tarasyuk O (2008) Study of Lyme borreliosis in Ukraine. *Int J Med Microbiol* 298 (Suppl 1): 154-160
- Bourdoiseau G (2006) Canine babesiosis in France, *Vet Parasitol* 138: 118-125
- Bown KJ, Begon M, Bennett M, Woldehiwet Z, Ogden NH (2003) Seasonal dynamics of *Anaplasma phagocytophila* in a rodent-tick (*Ixodes trianguliceps*) system, United Kingdom. *Emerg Infect Dis* 9: 63-70
- Bown KJ, Begon M, Bennett M, Birtles RJ, Burthe S, Lambin X, Telfer S, Woldehiwet Z, Ogden NH (2006) Sympatric *Ixodes trianguliceps* and *Ixodes ricinus* ticks feeding on field voles (*Microtus agrestis*): potential for increased risk of *Anaplasma phagocytophilum* in the United Kingdom. *Vector Borne Zoonotic Dis* 6: 404-410
- Briedermann L (1971) Ermittlungen zur Aktivitätsperiodik des mitteleuropäischen Wildschweins. *Zool Garten* 40: 312-327
- Brown EL, Kim JH, Reisenbichler ES, Höök M (2005) Multicomponent Lyme vaccine: three is not a crowd. *Vaccine* 23: 3687-3696
- Brownstein JS, Holford TR, Fish D (2003) A climate-based model predicts the spatial distribution of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in the United States. *Environ Health Perspect* 111: 1152-1157
- Brownstein JS, Holford TR, Fish D (2005) Effect of climate change on Lyme disease risk in North America. *EcoHealth* 2: 38-46
- Bullova E, Lukan M, Satnko M, Petko B (2009) Spatial distribution of *Dermacentor reticulatus* tick in Slovakia in the beginning of the 21st century. *Vet Parasitol* 165: 357-360

- Camicas JL, Hervy JP, Adam F, Morel PC (1998) Ticks of the world (Acarida, Ixodida): nomenclature, described stages, hosts, distribution. Orstom éditions, Paris
- Carroll JF, Schmidtman ET (1996) Dispersal of blacklegged tick (Acari: Ixodidae) nymphs and adults at the woods-pasture interface. *J Med Entomol* 33:554-558
- Chemini C, Rizzoli A, Merler S, Furlanello C, Genchi C (1997) *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) on roe deer (*Capreolus capreolus*) in Trentino, Italian Alps. *Parassitologia* 39: 59-63.
- Chmielewska-Badora J, Zwolinski J, Cisak E, Wojcik-Fatla A, Buczek A, Dutkiewicz J (2007) Prevalence of *Anaplasma phagocytophilum* in *Ixodes ricinus* ticks determined by polymerase chain reaction with two pairs of primers detecting 16sRNA and *ankA* genes. *Ann Agric Environ Med* 14: 281-285
- Cinco M, Padovan D, Murgia R, Maroli M, Frusteri L, Heldtander M, Johansson K-E, Engvall EO (1997) Coexistence of *Ehrlichia phagocytophila* and *Borrelia burgdorferi* sensu lato in *Ixodes ricinus* ticks from Italy as determined by 16S rRNA gene sequencing. *J Clin Microbiol* 35: 3365-3366
- Clement J, Vercauteren J, Verstraeten WW, Ducoffre G, Barrios JM, Vandamme AM, Maes P, Ranst M van (2009) relating increasing hantavirus incidences to the changing climate: the mast connection. *Int J Health Geographics* (doi: 10.1186/146-072X-8-1
- Crooks E, Randolph SE (2006) Walking by *Ixodes ricinus* ticks: intrinsic and extrinsic factors determine the attraction of moisture or host odour. *J Exp Biol* 209: 2138-2142
- D'Agaro P, Martinelli E, Burgnich P, Nazzi F, Del Fabbro S, Iob A, Ruscio M, Pischiutti P and Campello C (2009) Prevalence of tick-borne encephalitis virus in *Ixodes ricinus* from a novel endemic area of North Eastern Italy. *J Med Virol* 81: 309-316
- Daix V, Schroeder H, Praet N, Georgin J-P, Chiappino I, Gillet L, de Fays K, Decern Y, Leboulle G, Godfroid E, Bollen A, Pastoret P-P, Gern L, Sharp PM and Vanderplasschen A (2007) *Ixodes* ticks belonging to the *Ixodes ricinus* complex encode a family of anticomplement proteins. *Insect Mol Biol* 16: 155-166
- Daniel M, Danielova V, Kriz B, Nozicka J (2003) Shift of the tick *Ixodes ricinus* and tick-borne encephalitis to higher altitudes in Central Europe. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 22: 327-328
- Daniels TJ, Falco RC, Fish D (2000) Estimating population size and drag sampling efficiency for the blacklegged tick (Acari: Ixodidae). *J Med Entomol* 37: 357-363
- Dautel H, Dippel C, Kämmer D, Werkhausen A, Kahl O (2008) Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest. *Int J Med Microbiol* 298: 50-54

- Dautel H, Dippel C, Oehme R, Hartelt K, Schettler E (2006) Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* sp. RpA4. *Int J Med Microbiol* 296: 149-156
- Dautel H, Kahl O, Knülle W (1991) The soft tick *Arfars reflexus* (F.) (Acari, Argasidae) in urban environments and its medical significance in Berlin (West). *J Appl Ent* 111: 380-390
- Dautel H, Scheurers S, Kahl O (1999) The pigeon tick (*Argas reflexus*): its biology, ecology, and epidemiological aspects. *Zbl Bakt* 289: 745-753
- Delay C, Béati L, Aeschlimann A, Renaud F, De Meeûs T (1997) Population genetic structure of *Ixodes ricinus* in Switzerland from allozymic data: no evidence of divergence between nearby sites. *Int J Parasitol* 27: 769-773
- Del Fabbro S, Nazzi F (2008) Repellent effect of sweet basil compounds on *Ixodes ricinus* ticks. *Exp Appl Acarol* 45: 219-228
- Dizij A, Kurtenbach K (1995) *Clethrionomys glareolus*, but not *Apodemus flavicollis*, acquires resistance to *Ixodes ricinus* L, the main European vector of *Borrelia burgdorferi*. *Parasite Immunol* 17: 177-183
- Dobson A, Cattadori I, Holt RD, Ostfeld RS, Keesing F, Krichbaum K, Rohr JR, Perkins SE, Hudson PJ (2006) Sacred cows and sympatric squireels: the importance of biological diversity to human health. *PLoS Medicine* 3: e 231
- Ecke F, Löfgren O, Sörlin D (2002) Population dynamics of small mammals in relation to forest age and structural habitat factors in northern Sweden. *J Appl Ecol* 39: 781-792
- Endris RG, Matthewson MD, Cooke D, Amodie D (2000) Repellency and efficacy of 65% Permethrin and 9.7% Fipronil against *Ixodes ricinus*. *Vet Ther* 1: 159-168
- Estrada-Pena A (1999) Geostatistics as predictive tools to estimate *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) habitat suitability in the Western Palearctic from AVHRR satellite imagery. *Exp Appl Acarol* 23: 337-349
- Estrada-Pena A (2001) Distribution, abundance, and habitat preferences of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in northern Spain. *J Med Entomol* 38: 361-370
- Estrada-Pena A (2002) Understanding the relationships between landscape connectivity and abundance of *Ixodes ricinus* ticks. *Exp Appl Acarol* 28: 239-248
- Estrada-Pena A (2003) The relationships between habitat topology, critical scales of connectivity and tick abundance *Ixodes ricinus* in a heterogeneous landscape in northern Spain. *Ecography* 26:661-671

- Estrada-Pena (2004) Effects of habitat suitability and landscape patterns on tick (Acarina) metapopulation processes. *Landscape Ecol* 20: 529-541
- Estrada-Pena A (2008) Climate, niche, ticks, and models: what they are and how we should interpret them. *Parasitol Res (Suppl. 1)* 103: 87-95
- Estrada-Pena A, Jongejans F (1999) Ticks feeding on humans: a review of records on human-biting Ixodoidea with special reference to pathogen transmission. *Exp Appl Acarol* 23: 685-715
- Estrada-Pena A, Martinez JM, Sanchez Acedo C, Quilez J, Del Cacho E (2004) Phenology of the tick, *Ixodes ricinus*, in its southern distribution range (Central Spain). *Med Vet Entomol* 18:387-397
- Estrada-Pena A, Oteo JA, Estrada-Pena R, Gortazar C, Osacar JJ, Moreno JA, Castella J (1995) *Borrelia burgdorferi sensu lato* in ticks (Acari: Ixodidae) from two different foci in Spain. *Exp Appl Acarol* 19: 173-180
- Estrada-Pena A, Venzal JM (2007) Climate niches of tick species in the Mediterranean region: modelling of occurrence data, distributional constraints, and impact on climate change. *J Med Entomol* 44: 1130-1138
- Estrada-Pena A, Venzal JM, Sanchez Acedo C (2006) The tick *Ixodes ricinus*: distribution and climate preferences in the Western Palaearctic. *Med Vet Entomol* 20: 189-197
- Etti S, Hails R, Schäfer SM, De Michelis S, Sewell H-S, Bormane A, Donaghy M, Kurtenbach K (2003) Habitat-specific diversity of *Borrelia burgdorferi sensu lato* in Europe, exemplified by data from Latvia. *Appl Environ Microbiol* 69: 3008-3010
- Fahrig L (2003) Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annu Rev Ecol Evol Syst* 34: 487-515
- Falco RC, Fish D (1988) Prevalence of *Ixodes scapularis* near the homes of Lyme disease patients in Westchester County, New York. *Am J Epidemiol* 126: 826-830
- Faulde M, Hoffmann G (2001) Vorkommen und Verhütung vektorassoziierter Erkrankungen des Menschen in Deutschland unter Berücksichtigung zoonotischer Aspekte. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 44: 116-136
- Faulde MK, Robbins RG (2008) Tick infestation risk and *Borrelia burgdorferi* s.l. infection-induced increase in host-finding efficacy of female *Ixodes ricinus* under natural conditions. *Exp Appl Acarol* 44: 137-145
- Faulde M, Scharninghausen J, Tisch Matthias (2008) Preventive effect of permethrin-impregnated clothing to *Ixodes ricinus* ticks and associated *Borrelia burgdorferi* s.l. in Germany. *Int J Med Microbiol* 298: 321-324

- Ferreira BR and Silva JS (1998) Saliva of *Rhipicephalus sanguineus* tick impairs T cell proliferation and IFN-g-induced macrophage microbicidal activity. *Vet Immunol Immunop* 64: 279-293
- Filippova NA (1985) Taiga tick, *Ixodes persulcatus* (Acarina: Ixodidae). Morphology, systematics, ecology, medical importance (In Russian). Soviet Committee for the UNESCO Programme "Man and Biosphere", Leningrad, 416 pp
- Filippova NA (1999) Systematic relationships of the *Ixodes ricinus* complex in the Palearctic Faunal Region. In: Mitchell RD, Horn DJ, Needham GR, Welbourn WC(eds), *Acarology IX, Volume 2*, Ohio Biological Survey, Columbus, Ohio, pp. 355-361
- Fingerle V, Goodman JL, Johnson RC, Kurtti TJ, Munderloh UG, Wilske B (1997) Human granulocytic ehrlichiosis in southern Germany: increased seroprevalence in high-risk groups. *J Clin Microbiol* 35: 3244-3247
- Fischer U, Siegmund B (2007) *Borreliose - Zeckeninfektion mit Tarnkappe*. 5. Auflage, Hirzel-Verlag, Stuttgart
- Fish D (1993) Population ecology of *Ixodes dammini*. In: Ginsberg HS (ed) *Ecology and environmental management of Lyme disease*. Rutgers University Press, New Brunswick, pp 25-42.
- Frank DH, Fish D, Moy FH (1998) Landscape features associated with Lyme disease risk in a suburban residential environment. *Landscape Ecol* 13: 27-36
- Garboui SS (2008) Plant-derived chemicals as tick repellents. Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy, Acta Universitatis Upsaliensis, University of Uppsala, Uppsala, Sweden
- Garboui SS, Jaenson TG, Palsson K (2006) Repellency of MyggA natural spray (para-menthane-3,8-diol) and RB86 (neem oil) against the tick *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in the field in East-Central Sweden. *Exp Appl Acarol* 20: 271-277
- Garcia R (1962) Carbon dioxide as an attractant for certain ticks (Acarina: Argasidae and Ixodidae). *Ann Entomol Soc Am* 55: 605-606
- Gardulf A, Wohlfart I, Gustafson R (2004) A prospective cross-over field trial shows protection of lemon eucalyptus extract against tick bites. *J Med Entomol* 41: 1064-1067
- Gassner F, Verbaarschot P, Smallegange RC, Spitzen J, Van Wieren SE, Takken W (2008) Variations in *Ixodes ricinus* density and *Borrelia* infections associated with cattle introduced into a woodland in the Netherlands. *Appl Environ Microbiol* 74: 7138-7144

- Gern L, Humair PF (2002) Ecology of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Europe. Lyme Borreliosis: Biol Epidemiol Control 6: 149-174.
- Gindin G, Samish M, Zangi G, Mishoutchenko A, Glazer I (2002) The susceptibility of different species and stages of ticks to entomopathogenic fungi. Exp Appl Acarol 28: 283–288
- Ginsberg HS, Lebrun RA, Heyer K, Zhioua E (2002) Potential nontarget effects of *Metarhizium anisopliae* (Deuteromycetes) used for biological control of ticks (Acari: Ixodidae). Environ Entomol 31: 1191–1196
- Glaser B, Gothe R (1998) Hundetourismus und -import: Eine Umfrage in Deutschland zu Ausmaß sowie Spektrum und Präferenz der Aufenthalts-bzw. Herkunftsländer. Tierärztl Prax 26: 40-46.
- Gothe R (1968) Zum Vorkommen von *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille 1806) in Deutschland. Z tropenmed Parasitol 19: 305-307
- Gothe R, Hamel HD (1973) Zur Ökologie eines deutschen Stammes von *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806). Z Parasitenk 41: 157-172
- Gothe R, Hamel HD (1973) Epizootien von *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) in Deutschland. Zbl Vet Med B 20: 245-249
- Gray JS (1985) A carbon dioxide trap for prolonged sampling of *Ixodes ricinus* L. populations. Exp Appl Acarol 1:35-44
- Gregoire A, Faivre B, Heeb P, Cezilly F (2002) A comparison of infestation patterns by *Ixodes* ticks in urban and rural populations of the common blackbird *Turdus merula*. Ibis 144: 640-645
- Grzeszczuk A, Stanczak J, Kubica-Biernat B (2002) Serological and molecular evidence of human granulocytic ehrlichiosis focus in the Bialowieza primeval forest (Puszcza Bialowieska), northern Poland. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 21: 6-11
- Haemig PD, Waldenström J, Olsen B (2008) Roadside ecology and epidemiology of tick-borne diseases. Scand J Infect Dis 40: 853-858
- Hannier S, Liversidge J, Sternberg JM, and Bowman AS (2003) *Ixodes ricinus* tick salivary gland extract inhibits IL-10 secretion and CD69 expression by mitogen-stimulated murine splenocytes and induces hyporesponsiveness in B lymphocytes. Parasite Immunol 25: 27-37
- Hannier S, Liversidge J, Sternberg JM and Bowman AS (2004) Characterization of the B-cell inhibitory protein factor in *Ixodes ricinus* tick saliva: a potential role in enhanced *Borrelia burgdorferi* transmission. Immunology 113: 401-408

- Harlan HJ, Foster WA (1990) Micrometeorologic factors affecting field host-seeking activity of adult *Dermacentor variabilis* (Acari: Ixodidae). *J Med Entomol* 27: 471-479
- Hartelt K, Wurst E, Collatz J, Zimmermann G, Kleespies RG, Oehme RM, Kimmig P, Steidle JL, Mackenstedt U (2008) Biological control of the tick *Ixodes ricinus* with entomopathogenic fungi and nematodes: preliminary results from laboratory experiments. *Int J Med Microbiol* 298: 314–320
- Hengge UR, Tannapfel A, Tying SK, Erbel R, Arendt G, Ruzicka T (2003) Lyme borreliosis. *Lancet Inf Dis* 3: 489-500
- Hilger C, Bessot JC, Hutt N, Grigioni F, de Blay F, Pauli G, hentges F (2005) IgE-mediated anaphylaxis caused by bites of the pigeon tick *Argas reflexus*: cloning and expression of the major allergen Arg r 1. *J Allergy Clin Immun* 115: 617-622
- Hubalek Z, Halouzka J (1998) Prevalence rates of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in host-seeking *Ixodes ricinus* ticks in Europe. *Parasitol Res* 84: 167-172
- Humair PF, Rais O, Gern L (1999) Transmission of *Borrelia afzelii* from *Apodemus* mice and *Clethrionomys* voles to *Ixodes ricinus* ticks: differential transmission pattern and overwintering maintenance. *Parasitology* 118: 33-42
- Iori A, Grazioli, Gentile E, Marano G, Salvatore G (2005) Acaricidal properties of the essential oil of *Melaleuca alternifolia* Cheel (tea tree oil) against nymphs of *Ixodes ricinus*. *Vet Parasitol* 129: 173-176
- IPCC (2007) Climate Change 2007: The physical science basis. Contribution of working group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, 996 pp
- Jacob J (2003) Short-term effects of farming practices on populations of common voles. *Agr Ecosyst Environ* 95: 321-325
- Jaenson TGT, Garboui S, Palsson K (2006) Repellency of oils of lemon eucalyptus, geranium, and lavender and the mosquito repellent MyggA natural to *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in the laboratory and field. *J Med Entomol* 43: 731-736
- Jones CG, Ostfeld RS, Richard MP, Schaubert EM, Wolff JO (1998) Mast seeding and Lyme disease. *Trends Ecol Evol* 13: 506
- Junttila J, Peltomaa M, Soini H, Marjamäki M, Viljanen MK (1999) Prevalence of *Borrelia burgdorferi* in *Ixodes ricinus* ticks in urban recreational areas of Helsinki. *J Clin Microbiol* 37: 1361-1365

- Kaaya GP (2000) Laboratory and field evaluation of entomogenous fungi for tick control. *Ann NY Acad Sci* 916: 559–564
- Kahl O (1996) Fatal attraction or how do we get tick bites? *Infection* 24: 394-395
- Kalsbeek V, Fransen F, Steenberg T (1995) Entomopathogenic fungi associated with ixodes ricinus ticks. *Expt Appl Acarol* 19: 45-51
- Kampen H, Rötzel DC, Kurtenbach K, Maier WA, Seitz HM (2004) Substantial rise in the prevalence of Lyme Borreliosis spirochetes in a region of Western Germany over a 10-year period. *Appl Environ Microbiol* 70: 1576-1582
- Kitron U (2000) Risk maps: transmission and burden of vector-borne diseases. *Parasitol Today* 16: 324-325
- Kleine-Tebbe J, Heinatz A, Gräser I, Dautel H, Hansen G, Kespohl S, Rihs H, Raulf-Heimsoth M, Vater G, Rytter M (2006) Bites of the European pigeon tick (*Argas reflexus*): risk of IgE-mediated sensitizations and anaphylactic reactions. *J Allergy Clin Immunol* 117: 190-195
- Knap N, Durmisi E, Saksida A, Morva M, Petrovec M, Avsic-Zupanc T (2009) Influence of climatic factors on dynamics of questing *Ixodes ricinus* ticks in Slovenia. *Vet Parasitol* 164: 275-281
- Koch HG, McNew RW (1981) Comparative catches of field populations of lone star ticks by CO₂ –emitting dry ice, dry-chemical, and animal baited devices. *Ann Entomol Soc Am* 74: 498-500
- Kok OB, Petney TN (1993) Small and medium sized mammals as predators of ticks in South Africa. *Exp Appl Acarol* 17: 733-740
- Kopecky J, Kuthejllova M and Pechova J (1999) Salivary gland extract from *Ixodes ricinus* ticks inhibits production of interferon-g by the upregulation of interleukin-10. *Parasite Immunol* 21: 351-356
- Korenberg EI (2000) Seasonal population dynamics of *Ixodes ticks* and tick-borne encephalitis virus. *Exp Appl Acarol* 24: 665-681
- Korenberg E und Likhacheva T (2006) Analysis of the long-term dynamics of tick-borne encephalitis (TBE) and ixodid tick-borne borrelioses (ITBB) morbidity in Russia. *Int J Med Microbiol* 296: 54-58
- Kovar L, Kopecky J and Rihova B (2001) Salivary gland extract from *Ixodes ricinus* tick polarizes the cytokine profile towards TH2 and suppresses proliferation of T lymphocytes in human PBMC culture, *J Parasitol* 87: 1342-1348

- Kovar L, Kopecký J and Rihova B (2002) Salivary gland extract from *Ixodes ricinus* tick modulates the host immune response towards the Th2 cytokine profile, *Parasitol Res* 88: 1066-1072
- Krauss H, Weber A (1986) Zoonosen: Von Tier zu Mensch übertragbare Infektionskrankheiten. Deutsche Ärzte-Verlag, Köln
- Krebs CJ (2002) Beyond population and regulation. *Wildlife Res* 29: 1-10
- Krocoka Z, Macela A, Hernychova L, Kroca M, Pechova J and Kopecky J (2003) Tick salivary gland extract accelerates proliferation of *Franciscella tularensis* in the host. *J Parasitol* 89: 14-20
- Kubes M, Fuchsberger N, Labuda M, Zuffova E and Nuttall PA (1992) Salivary gland extracts of partially fed *Dermacentor reticulatus* ticks decrease natural killer cell activity in vitro. *Immunology* 82: 113-116
- Kuffer-Frank M, Link M, Schipp D, Kraft W (1999) *Ehrlichia canis*: Epidemiologie, klinische Symptome und labordiagnostische Befunde der Jahre 1996 und 1997 (60 Faelle). *Tierärztliche Praxis, Kleintiere Heimtiere* 27: 53–64.
- Kurtenbach K, Hanincova K, Tsao J, Margos G, Fish D, Ogden NH (2006) Fundamental processes in the evolutionary ecology of Lyme borreliosis. *Nature Rev Microbiol* 4: 660-669
- Kurtenbach K, Kampen H, Dizij A, Arndt S, Seitz HM, Schaible UE, Simon MM (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. *J Med Entomol* 32: 807-817
- Kurtenbach K, Peacey M, Rijpkema SGT, Hoodless AN, Nuttall PA, Randolph SE (1998a) Differential transmission of the genospecies of *Borrelia burgdorferi* sensu lato by game birds and small rodents in England. *Appl Environ Microbiol* 64: 1169-1174
- Kurtenbach K, Sewell H-S, Ogden NH, Randolph SE, Nuttall PA (1998b) Serum complement sensitivity as a key factor in Lyme disease ecology. *Infect Immun* 66: 1248-1251
- Labuda M, Jones LD, Williams T and Nuttall PA (1993) Enhancement of tick-borne encephalitis virus transmission by tick salivary gland extracts. *Med Vet Entomol* 7: 193-196
- Lacey LA (2007) *Bacillus thuringiensis* serovariety *israelensis* and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *J Am Mosq Assoc* 23: 133-163

- Lane RS, Kleinjan JE, Schoeler GB (1995) Diel activity of nymphal *Dermacentor occidentalis* and *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) in relation to meteorological factors and host activity periods. *J Med Entomol* 32: 290-299
- Lawrie CH, Randolph SE and Nuttall PA (1999) *Ixodes* ticks: serum species sensitivity of anticomplement activity. *Exp Parasitol* 93: 207-214
- Leboulle G, Crippa M, Decrem Y, Mejri N, Brossard M, Bollen A and Godfroid E (2002) Characterization of a novel salivary immunosuppressive protein from *Ixodes ricinus* ticks. *J Biol Chem* 277: 10083-10089
- Leutenegger Cm, Pusterla N, Mislin CN, Weber R, Lutz H (1999) Molecular evidence of coinfection of ticks with *Borrelia burgdorferi* sensu lato and the Human Granulocytic Ehrlichiosis agent in Switzerland. *J Clin Microbiol* 37: 3390-3391
- Lima M, Stenseth NC, Jaksic FM (2002) Population dynamics of a South American rodent: seasonal structure interacting with climate, density dependence and predator effects. *Proc Biol Sci* 269: 2579-2586
- Lindenmayer D, Fischer J (2006) Habitat Fragmentation and landscape change: an ecological and conservation synthesis. Island Press, Washington
- Lindgren E, Gustafson R (2001) Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change. *The Lancet* 358: 16-18
- 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*. *Environ Health Persp* 108: 119-123
- Lindsay LR, Barker IK, Surgeoner GA, McEwen SA, Gillespie TJ, Robinson JT (1995) Survival and development of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) under various climatic conditions in Ontario, Canada. *J Med Entomol* 143-152
- Loew-Baselli A, Konior R, Pavlova BG, Fritsch S, Poellabauer E, Maritsch F, Harmacek P, Krammer M, Barrett PN, Ehrlich HJ (2006) Safety and immunogenicity of the modified adult tick-borne encephalitis vaccine FSME-IMMUN[®]: results of two large phase 3 clinical studies. *Vaccine* 24: 5256-5263
- LoGuidice K, Ostfeld RS, Schmidt KA, Keesing F (2003) the ecology of infectious disease: effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk. *PNAS* 100: 567-571
- Machackova M, Oborník M and Kopecky J (2006) Effect of salivary gland extract from *Ixodes ricinus* ticks on the proliferation of *Borrelia burgdorferi* sensu stricto in vivo. *Folia Parasitol* 53: 153-158

- Macinnes I, Di Paolo E (2005) From the inside looking out: self extinguishing perceptual cues and the constructed worlds of animats. In: Capcarrere M, Freitas AA, Bentley PJ, Hohanson CG, Timmes J (eds) *Advances in artificial life*. Springer, Heidelberg, pp. 11-20
- Maetzel D, Maier WA, Kampen H (2005) *Borrelia burgdorferi* infection prevalences in questing *Ixodes ricinus* ticks (Acari: ixodidae) un urban and suburban Bonn, Western Germany. *Parasitol res* 95: 5-12
- Maiwald M, Oehme R, March O, Petney TN, Kimmig P, Naser K, Zappe HA, Hassler D, von Knebel Doeberitz M (1998) Transmission risk of *Borrelia burgdorferi* sensu lato from *Ixodes ricinus* ticks to humans in Southwest Germany. *Epidemiol Infect* 121: 103-108
- Matjila TP, Nijhof AM, Taoufik A, Houwers D, Teske E, Penzhorn BL, de Lange T and Jongejan F (2005) Autochthonous canine babesiosis in the Netherlands. *Vet Parasitol* 131: 23-29
- Matuschka F-R, Fischer P, Musgrave K, Richter D, Spielman A (1991) Hosts on which nymphal *Ixodes ricinus* most abundantly feed. *Am J Trop Med Hyg* 44: 100-107
- McMahon C, Guerin PM (2002) Attraction of the tropical bont tick, *Amblyomma variegatum*, to human breath and to the breath components acetone, NO and CO₂. *Naturwissenschaften* 89: 311-315
- Mehl R (1983) The distribution and host relations of Norwegian ticks (Acari, Ixodides). *Fauna Norv Ser B* 30: 46-51
- Mehlhorn H, Schmahl G, Schmidt J (2005) Extract of the seeds of the plant *Vitex agnus castus* proven to be highly efficacious as a repellent against ticks, fleas, mosquitoes and biting flies. *Parasitol Res* 95: 363-365
- Mejri N, Rutti B and Brossard M (2001) Immunosuppressive effects of *Ixodes ricinus* tick saliva or salivary gland extracts on innate and acquired immune response of BALB/c mice. *Parasitol Res* 88: 192-197
- Merler S, Furlanello C, Chemini C, Nicolini G (1996) Classification tree methods for analysis of mesoscale distribution of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in Trentino, Italian Alps. *J Med Entomol* 33: 888-893
- Meynhardt H (1978) Schwarzwildreport. Vier Jahre unter Wildschweine. Melsungen (referred to in Niethammer and Krapp1986)
- Miller M, Aplet G (1993) Biological control: a little knowledge is a dangerous thing. *Rutgers Law Rev* 45: 285-334

- Niethammer J, Krapp F (1986) Handbuch der Säugetiere Euopas, Band 2/II Paarhufer – Artiodactyla (Suidae, Cervidae, Bovidae). AULA, Wiesbaden
- Nigrovic LE, Thompson KM (2007) The Lyme vaccine: a cautionary tale. *Epidemiol Inf* 135: 1-8
- Nilsson A (1988) Seasonal occurrence of *Ixodes ricinus* (Acari) in vegetation and on small mammals in southern Sweden. *Holarct Ecol* 11: 161-165
- Norval RAI (1977) Studies on the ecology of the tick *Amblyomma hebraeum* Koch in the Eastern Cape province of South Africa. II. Survival and development. *J Parasitol* 63: 740-747
- Nosek J, Sixl W (1972) Central-European ticks (Ixodoidea). Key for determination. *Mitteilungen der Abteilung Zoologie des Landesmuseum Joanneum* 1: 61-92
- Nuttall PA and Labuda M (2004) Tick–host interactions: saliva-activated transmission. *Parasitology* 129: 177-189
- Nuttall PA, Paesen GC, Lawrie CH, Wang H (2000) Vector-host interactions in disease transmission. *J Mol Microbiol Biotechnol* 2: 381-386.
- Oehme R, Hartelt K, Backe H, Brockmann S, Kimmig P (2002) Foci of tick-borne diseases in Southwest Germany, *Int J Med Microbiol* 291: 22–29
- Ogden NH, Bigras-Poulin M, O’Callaghan CJ, Barker IK, Lindsay LR, Maarouf A, Smoyer-Tomic KE, Waltner-Toews D, Charron D (2005) A dynamic population model to investigate effects of climate on geographic range and seasonality of the tick *Ixodes scapularis*. *Int J Parasitol* 35: 375-389
- Oliver JH Jr (1989) Biology and systematics of ticks (Acari: Ixodidae). *Annu Rev Ecol Syst* 20: 397-430
- Olsen B, Duffy DC, Jaenson TGT, Gylfe A, Bonnedahl J, Bergström S (1995) Transhemispheric exchange of Lyme disease spirochetes by seabirds. *J Clin Microbiol* 33: 3270-3274
- Olsen B, Jaenson TG, Noppa L, Bunikis J, Bergström S (1993) A Lyme borreliosis cycle in seabirds and *Ixodes uriae* ticks. *Nature* 25: 340-342
- Ostfeld RS, Jones CG, Wolff JO (1996) Of mice and mast. *Bioscience* 46: 323-330
- Ostfeld RS, Keesing F (2000) Biodiversity and disease risk: the case of Lyme disease. *Conserv Biol* 14: 722-728
- Ostfeld RS, Price A, Hornbostel VL, Benjamin MA, Keesing F (2006) Controlling ticks and tick-borne zoonoses with biological and chemical agents. *BioScience* 56: 383-394

- Ostfeld RS, Schaubert EM, Canham CD, Keesing F, Jones CG, Wolff JO (2001) Effects of acorn production and mouse abundance on abundance and *Borrelia burgdorferi* infection prevalence of nymphal *Ixodes scapularis* ticks. *Vector-borne and Zoonotic Diseases* 1: 55-63
- Ouin A, Paillat G, Butet A, Burel F (2000) Spatial dynamics of wood mouse (*Apodemus sylvaticus*) in an agricultural landscape under intensive use in the Mont Saint Michel Bay (France). *Agr Ecosyst Environ* 78: 159-165
- Paulauskas A, Ambrasiene D, Radzijeuskaja J, Rosef O, Turcinaviciene J (2008) Diversity in prevalence and genospecies of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in *Ixodes ricinus* ticks and rodents in Lithuania and Norway. *Int J Med Microbiol* 298: 180-187
- Paulauskas A, Radzijeuskaja J, Rosef O, Turcinaviciene J, Ambrasiene D (2009) Infestation of mice and voles with *Ixodes ricinus* ticks in Lithuania and Norway. *Estonian J Ecol* 58: 12-125
- Pechova J, Stepanova G, Kovar L and Kopecky J (2002) Salivary gland extract from *Ixodes ricinus* tick modulates the host immune response towards the Th2 cytokine profile. *Folia Parasit* 49: 153-159
- Perkins SE, Cattadori IM, Tagliapietra V, Rizzoli AP, Hudson PJ (2006) Localized deer absence leads to tick amplification. *Ecology* 87: 1981-1986
- Perret J-L, Guerin PM, Diehl P-A, Vlimant M, Gern L (2003) Darkness favours mobility and saturation deficit limits questing duration in *Ixodes ricinus*, the tick vector of Lyme disease in Europe. *J Exp Biol* 206:1809-1815
- 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). *Parasitol Res* 86: 554-557
- Perret J-L, Rais O, Gern L (2004) Influence of climate on the proportion of *Ixodes ricinus* nymphs and adults in a tick population. *J Med Entomol* 41: 361-365
- Peter O, Burgdorfer W, Aeschlimann A, Chatelanat P (1984) *Rickettsia conorii* isolated from *Rhipicephalus sanguineus* introduced into Switzerland on a pet dog. *Parasitol Res* 70: 265-270
- Petney TN, Andrews RH, Bull CM (1983) Movement and host finding by unfed nymphs of two Australian reptile ticks. *Aust J Zool* 31:717-721
- Petney TN, Kok OB (1993) Birds as predators of ticks (Ixodidae) in South Africa. *Exp Appl Acarol* 17: 393-403

- Petney TN, Van Ark H, Spickett AM (1990) On sampling tick populations: the problem of overdispersion. *Onderstepoort J Vet Res* 57: 13-127
- Pfäffle M, Petney T, Elgas M, Skuballa J, Taraschewski H (2009) Tick-induced blood loss leads to regenerative anaemia in the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*). *Parasitology* 136: 443-452
- Piesman J, Eisen L (2008) Prevention of tick-borne diseases. *Annu Rev Entomol* 53: 323-343
- Poggensee G, Fingerle V, Hunfeld KP et al. (2008) Lyme-Borreliose: Forschungsbedarf und Forschungsansätze. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 51: 1329-1339
- Porchet MJ, Sager H, Muggli L, Oppliger A, Müller , Frey C and Gottstein B (2007) A descriptive epidemiological study on canine babesiosis in the Lake Geneva region. *Schweiz Arch Tierheilkd* 149: 457-465
- Randolph SE (1998) Mighty theories from little acorns grow: is Lyme disease risk predictable from mast-seeding by oak trees? *TREE* 13: 301-303
- Randolph SE (2000)
- Randolph SE (2001) The shifting landscape of tick-borne zoonoses: tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis in Europe. *Phil Trans R Soc London B* 356: 1045-1056
- Randolph SE (2004) Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vector. *Parasitology* 129: 37-65
- Randolph SE, Rogers DJ (2000) Fragile transmission cycles of tick-borne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change. *Proc R Soc London B* 267: 1741-1744
- Randolph SE, Asokliene L, Avsic-Zupanc T, Bormane A, Burri C, Gern L, Golovljova I, Hubalek Z, Knap N, Kondrusik M, Kupca A, Pejcoch M, Vasilenko V, Zygutiene M (2008) Variable spikes in tick-borne encephalitis incidence in 2006 independent of variable tick abundance but related to weather. *Parasit Vectors* 1:44 doi:10.1186/1756-3305-1-44
- Randolph SE, Green RM, Hoodless AN, Peacey MF (2002) An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*. *Int J Parasitol* 32: 979-989
- Rath PM, Ibershoff B, Mohnhaupt A, Albeig J, Eljaschewitsch B, Jürgens D, Horbach I, Fehrbach FJ (1996) Seroprevalence of Lyme borreliosis in forestry workers from Brandenburg, Germany. *Eur J Clin Microbiol Inf Dis* 15: 372-377.
- Reiter P (2008) Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. *Rev Sci Tech Off Int Epiz* 27: 383-398

- Rosa R, Pugliese A, Norman R, Hudson PJ (2003) Thresholds for disease persistence in models for tick-borne infections including non-viraemic transmission, extended feeding and tick aggregation. *J Theor Biol* 224: 359-376
- Samish M (2000) Biocontrol of ticks. *Ann NY Acad Sci* 916:172–178
- Samish M, Ginsberg H, Glazer I (2004) Biological control of ticks. *Parasitology* 129: 389-403
- Samish M, Gindin G, Alekseev E, Glazer I (2001) Pathogenicity of entomopathogenic fungi to different developmental stages of *Rhipicephalus sanguineus* (Acari: Ixodidae), *J Parasitol* 87: 1355–1359
- Samish M, Rehacek J (1999) Pathogens and predators of ticks and their potential in biological control. *Annu Rev Entomol* 44: 159-182
- Schauber EM Ostfeld RS, Ewans AS (2005) What is the best predictor of annual Lyme disease incidence: weather, mice or acorns. *Ecol Appl* 15: 575-586
- Schmidt KA, Ostfeld RS (2001) Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology* 82: 609-619
- Schnurr JL, Ostfeld RS, Canham CD (2002) Direct and indirect effects of mast seeding on rodent populations and tree seed survival (*Peromyscus*, *Clethrionomys*, *Tamias*). *Oikos* 96: 402-410
- Schwantes U, Dautel H, Jung G (2008) Prevention of infectious tick-borne diseases in humans: comparative studies of the repellency of different dodecanoic acid-formulations against *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae). *Parasit Vectors* : doi: 10.1186/1756-3305-1-8
- Schwarz A, Maier WA, Kistemann T, Kampen H (2009) Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. *Int J Hyg Environ Health* 212: 87-96
- Scott DJ, Lee MK, Fernando K, Jorgensen DR, Durden LA, Morshed MG (2008) Rapid introduction of Lyme disease spirochete, *Borrelia burgdorferi* sensu stricto, in *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) established at Turkey Point Provincial Park, Ontario, Canada. *J Vector Ecol* 33: 64-69
- Selas V, Piovesan G, Adams JM, Bernabei M (2002) Climatic factors controlling reproduction and growth of Norway spruce in southern Norway. *Can J For Res* 32: 217-225
- Simberloff D, Stiling P (1996) Risks of species introduced for biological control. *Biol Cons* 78: 185-192

- Sin MA, Stark K, van Treeck U, Dieckmann H, Uphoff H, Hautmann W, Bornhofen B, Jensen E, Pfaff G, Koch J (2007) Risk factors for hantavirus infection in Germany, 2005. *Emerg Inf Dis* 13: 1365-1366
- Singh SK and Girschick HJ (2003) Tick–host interactions and their immunological implications in tick-borne diseases. *Curr Sci India* 85: 1284-1298
- Sinski E, Pawelczyk A, Bajer A, Behnke JM (2006) Abundance of wild rodents, ticks and environmental risk of Lyme borreliosis: a longitudinal study in an area of Mazury lakes district of Poland. *Ann Agric Environ Med* 13: 295-300
- Skuballa J, Oehme R, Hartelt K, Petney TN, Bücher T, Kimmig P, Taraschewski H (2007) European hedgehogs as hosts for *Borrelia* spp., Germany. *Emerg Infect Dis* 13: 952-953
- Skuballa J, Pfäffle M, Petney TN, Taraschewski H (2010): Molecular detection of *Anaplasma phagocytophilum* in the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) and its ticks. *Vector Borne Zoonotic Dis* 10(10): 1055-1057.
- Smith RP Jr, Muzaffar SB, Lavers J, Lacombe EH, Cahill BK, Lubelczyk CB, Kinsler A, Mathers AJ, Rand PW (2006) *Borrelia garinii* in seabird ticks (*Ixodes uriae*), Atlantic Coast, North America. *Emerg Infect Dis* 12: 1909-1912
- Spielman A, Wilson ML, Levine JF, Piesman J (1985) Ecology of *Ixodes dammini*-borne human babesiosis and Lyme disease. *Annu Rev Entomol* 30: 439-460
- Sreter-Lancz Z, Szell L, Kovacs G, Egyed L, Marialigeti K, Sreter T (2006) Rickettsiae of the spotted-fever group in ixodid ticks from Hungary : identification of a new genotype (“*Candidatus Rickettsia kodanii*”). *Ann Trop Med Parasit* 100: 229-236
- Stafford KC, Denicola AJ, Kilpatrick HJ (2003) Reduced abundance of *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae) and the tick parasitoid *Ixodiphagus hookeri* (Hymenoptera: Encyrtidae) with reduction of white-tailed deer. *J Med Entomol* 40 642-652
- Strasser H, Vanas V, Hutwimmer S, Zelger R (2007) Biologische Kontrolle von Zecken (*Ixodes ricinus* L) durch den insektentötenden Pilz *Metarhizium anisopliae* (Metch) Petch . Endbericht Forschungsprojekt Nr. 100078, Universität Innsbruck.
https://www.dafne.at/prod/dafne_plus_common/attachment_download/4ea6b69eb84e4c40df16bba5f6a9074c/Ixocont_Endbericht_171207.pdf
- Staub D, Debrunner M, Amsler L, Steffen R (2002) Effectiveness of a repellent containing DEET and EBAAP for preventing tick bites. *Wilderness Environ Med* 13: 12-20

- Steullet P, Guerin PM (1992a) Perception of breath components by the tropical bont tick, *Amblyomma variegatum* Fabricius (Ixodidae). I. CO₂-excited and CO₂-inhibited receptors. *J Comp Physiol A* 170: 665-667
- Steullet P, Guerin PM (1992b) Perception of breath components by the tropical bont tick *Amblyomma variegatum* Fabricius (Ixodidae). II. Sulfide-receptors. *J Comp Physiol A* 170: 677-685
- Steullet P, Guerin PM (1994) Identification of vertebrate volatiles stimulating olfactory receptors on tarsus I of the tick *Amblyomma variegatum* Fabricius (Ixodidae). *J Comp Physiol A* 174: 27-38
- Stjernberg L, Berglund J (2005) Detecting ticks on light versus dark clothing. *Scand j Infect Dis* 37: 361-364
- Stoddard ST, Morrison AC, Vazquez-Prokopec GM, Paz Soldan V, Kochel TJ, Kitron U, Elder JP, Scott TW (2009) The role of human movement in the transmission of vector-borne pathogens. *PLOS Negl Trop Dis* 3(7): doi: 10.1371/journal.pntd.0000481
- Sullivan TP, Sullivan DS (2001) Influence of variable retention harvests on forest ecosystems. II. Diversity and population dynamics of small mammals. *J Appl Ecol* 38: 1234-1252
- Sumilo D, Asokliene L, Bormane A, Vasilenko V, Golovljova I, Randolph SE (2007) Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. *PLOS* 2(6), doi: 10.1371/journal.pone.0000500.
- Süss J, Fingerle V, Hunfeld KP, Schrader C, Wilske B (2004) Durch Zecken übertragene humanpathogene und bisher als apathogen geltende Mikroorganismen in Europa. Teil 2: Bakterien, Parasiten und Mischinfektionen. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 47: 470-486
- Süss J, Schrader C (2004) Durch Zecken übertragene humanpathogene und bisher als apathogen geltende Mikroorganismen in Europa. Teil 1: Zecken und Viren. *Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz* 47: 392-404
- Sutherst RW (2001) The vulnerability of animal and human health to parasites under global change. *Int J Parasitol* 31: 933-948
- Swanson SJ, Neitzel D, Reed KD, Belongia EA (2006) Coinfections acquired from *Ixodes* ticks. *Clin Microbiol Rev* 19: 708-727
- Szell Z, Sreéter-Lancz Z, Marialigeti K and Sreter T (2006) Temporal distribution of *Ixodes ricinus*, *Dermacentor reticulatus* and *Haemaphysalis concinna* in Hungary. *Vet Parasitol* 141: 377-379

- Tälleklint-Eisen L, Lane RS (2000) Efficiency of dragsampling for estimating population sizes of *Ixodes pacificus* (Acari: Ixodidae) nymphs in leaf litter. *J Med Entomol* 37: 484-487
- Talaska T (2002) Borreliose-Epidemiologie (unter Berücksichtigung des Bundeslandes Brandenburg). *Bbg Ärztebl* 11: 338-340
- Tambs-Lyche H (1944) Skau-flatten (*Ixodes ricinus*) som representant for den atlantiske utbredelsestypen i var fauna. *Naturen* 68:104-119
- Tambs-Lyche H (1962) Factors limiting the distribution of *Ixodes ricinus* in Norway in relation to the occurrence of tick-borne diseases. *Verh XI Int Kongr Entomol Wien 1960* 3: 102-106
- Taraschewski H (2006) Host and parasites as aliens. *J Helminthol* 80: 99-192
- 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. *Epidemiol Infect* 137: 250-256
- Tonnesen MH, Penzhorn BL, Bryson NR, Stoltsz WH, Masibigiri T (2004) Displacement of *Boophilus decoloratus* by *Boophilus microplus* in the Soutpansberg region, Limpopo Province, South Africa. *Exp Appl Acarol* 32: 199-208
- Tsao JI, Wootton JT, Bunikis J, Luna MG, Fish D, Barbour AG (2004) An ecological approach to preventing human infection: vaccinating wild mouse reservoirs intervenes in the Lyme disease cycle. *Proc Nat Acad Sci* 101: 18159-18164
- Tyler RD and Cowell RL (1996) Classification and diagnosis of anaemia. *Comp Haematol Int* 6: 1-16
- Ulrich RG, Heckel G, Pelz H-J, Wieler LH, Nordhoff M, Dobler G, Freise J, Matuschka F-R, Jacob J, Schmidt-Chanasit J, Gerstengarbe FW, Jäkel T, Süß J, Ehlers B, Nitsche A, Kallies R, Johne R, Günther S, Henning K, Grunow R, Wenk M, Maul LC, Hunfeld K-P, Wölfel R, Schares G, Scholz HC, Brockmann SO, Pfeffer M, Essbauer SS (2009) Nagetiere und nagetierassoziierte Krankheitserreger. *Bundesgesundheitsblatt-Gesundheitsforschung-Gesundheitsschutz* 52: 352-369
- Vassallo M, Paul REL, Perez-Eid C (2000) Temporal distribution of the annual nymphal stock of *Ixodes ricinus* ticks. *Exp Appl Acarol* 24: 941-949
- Walker JB, Keirans JE, Korak IG (2000) The genus *Rhipicephalus* (Acari: Ixodidae): a guide to the brown ticks of the world. Cambridge University Press, London
- Wielinga PR, Gaasenbeek C, Fonville M, de Boer A, de Vries A, Dimmers W, Akkerhuis Op Jagers G, Schouls LM, Borgsteede F, van der Giessen JWB (2006) Longitudinal

- analysis of tick densities and *Borrelia*, *Anaplasma*, and *Ehrlichia* infections of *Ixodes ricinus* ticks in different habitat areas in the Netherlands. *Appl Environ Microbiol* 72: 7594-7601
- Wickel SK (1996) Host immunity to ticks. *Ann Rev Entomol* 41: 1-22
- Wikel SK (1999) Tick modulation of host immunity: an important factor in pathogen transmission. *Int J Parasitol* 29: 851-859.
- Wilson JG, Kinzler DR, Sauer JR, Hair JA (1972) Chemo-attraction in the lone star tick (*Acarina*, *Ixodidae*). 1. Response of different developmental stages to carbon dioxide. *J Med Entomol* 9: 245-252
- Wilson ML, Adler GH, Spielman A (1985) Correlation between abundance of deer and that of the deer tick, *Ixodes dammini* (Acari: Ixodidae). *Ann Entomol Soc Am* 78: 172-176
- Wilson ML, Ducey AM, Litwin TS, Gavin TA, Spielman A (2008) Microgeographic distribution of immature *Ixodes dammini* ticks correlated with that of deer. *Med Vet Entomol* 4: 151-159.
- Yates TL, Mills JN, Parmenter CA, Ksiazek TG, Parmenter RR, Vande Castle JR, Calisher CH, Nichol ST, Abbott KD, Young JC, Morrison ML, Beaty BJ, Dunnun JL, Baker RJ, Salazar-Bravo J, Peters CJ (2002) The ecology and evolutionary history of an emergent disease: hantavirus pulmonary syndrome. *Bioscience* 52: 989-998
- Zahler M, Gothe R (1997) Evidence for the reproductive isolation of *Dermacentor marginatus* and *Dermacentor reticulatus* (Acari: Ixodidae) ticks based on cross-breeding, morphology and molecular studies. *Exp Appl Acarol* 21: 685-696
- Zeidner NS, Schneider BS, Nuncio BS, Gern L and Piesman J (2002) Coinoculation of *Borrelia* spp. with tick salivary gland lysate enhances spirochaete load in mice and is tick species-specific, *J Parasitol* 88: 1276-1278
- Zimmermann G (1993) The entomopathogenic fungus *Metarhizium anisopliae* and its potential as a biocontrol agent. *Pest Sci* 37: 375-379

9. Glossar

Argasidae: Lederzecken, denen das harte Rückenschild der Schildzecken (Ixodidae) fehlt.

Direkte Übertragung: Übertragung von einem Wirt auf den anderen, ohne Zwischenwirte, z.B. Masern oder Grippeviren.

El Nino: das Auftreten ungewöhnlicher, nicht zyklischer, veränderter Strömungen im ozeanographisch-meteorologischen System des äquatorialen Pazifiks mit Auswirkung auf das Weltklima.

Empfänglich: Wirt der empfänglich für die Infektion mit einem bestimmten Pathogen ist. Empfängliche Wirte können durch infizierte Zecken selbst infiziert werden. Nach der Infektion kann der Wirt die Krankheit auf eine uninfizierte Zecke übertragen.

Entwicklungsstadium: Ein bestimmtes Stadium im Leben eines Organismus. Zecken haben normalerweise vier Entwicklungsstadien: Ei, Larve, Nymphe, Adulte (Männchen oder Weibchen).

Flaggen: Methoden um Zecken im Freiland zu fangen. Ein Tuch wird über die Vegetation gestreift und Zecken an Grashalmen verfangen sich in dem Stoff.

Geographische Informationssystem: System zur Erfassung, Speicherung, Prüfung, Manipulation, Integration, Analyse und Darstellung von Daten, die sich auf räumliche Objekte beziehen.

Habitat: Begriff für den Wohn- oder Standort einer Art.

Habitatfragmentierung: Aufbrechen größerer, zusammenhängender Lebensräume, was zu Verlust von Habitaten führen kann.

Inzidenz: Anzahl der Neuinfektionen innerhalb eines bestimmten zeitraums (meist ein Jahr)

Indirekte Übertragung: Übertragung, die einen Zwischenwirt oder Vektor benötigt, z.B. Wirt-Zecke-Wirt bei der Übertragung von FSME oder Wirt-Moskito-Wirt bei der Übertragung von Malaria.

Ixodidae: Schildzecken, eine Familie der Zecken, die sich durch ein hartes Rückenschild auszeichnet, das bei Männchen den gesamten Rücken, bei Larven, Nymphen und Weibchen nur einen teil des Rückens bedeckt.

La Nina: Im Gegensatz zu El Niño ist La Nina eine außergewöhnlich kalte Strömung im äquatorialen Pazifik

Mastjahr: Jahrgang mit deutlich erhöhter Produktion von Samen, bei mehrjährigen Pflanzen, insbesondere Buchen, Eichen und Kastanien.

Meta-Analyse: Statistische Zusammenfassung von Daten verschiedener Studien, die sich mit der gleichen oder ähnlichen Hypothesen befassen haben.

Mikrohabitat: Das direkte Habitat in dem eine Zecke lebt, abiotische und biotische Faktoren eingeschlossen (s. Mikroklima).

Mikroklima: Die in der engen Umgebung des Individuums Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Luftbewegung usw. die Auswirkung auf einen einzelnen Organismus haben.

NDVI: normalized difference vegetation indices (normalisierter differenzierter Vegetationsindex)—liefert Informationen über die Dichte und den Zustand der Vegetation. An measure of vegetation amount and condition. Er ist mit verschiedenen Parametern wie Biomasse, Blattflächenindex dem Anteil von Vegetation, die den Boden bedeckt assoziiert.

Ökoton: Ein Bereich zwischen zwei Gebieten mit unterschiedlicher Vegetation, welcher sich von beiden Gebieten unterscheidet. Beispielsweise ist das Ökoton zwischen Wald und offenem Feld, aufgrund von höherem Lichteinfluss und weniger Störung, dichter bewachsen als die anderen Habitate.

Oviposition: Eiablage

Prävalenz: Prozentualer Anteil einer Population, der mit einem Erreger infiziert ist.

Protozoa: Einzellige Organismen, zu denen die Parasiten gehören die Malaria (*Plasmodium* spp.) oder die Schlafkrankheit (*Trypanosoma* spp.) verursachen. Protozoen, die von Zecken übertragen werden sind z.B. *Babesia* und *Theileria* spp.

Questing: Zecken, die einen Wirt suchen nehmen die "Questing"-Position ein. Dabei ist das vordere Beinpaar, das Sinnesorgane enthält, ausgestreckt.

Rickettsia: Bakteriengattung, die in Zellen ihres Wirtsorganismus lebt. Viele Arten sind stark pathogen. Dazu gehören z. B. die Erreger des Fleckfiebers, Rocky-Mountains-Fleckfieber, Mittelmeerfleckfieber und Tsutsugamushi-Krankheit.

Sättigungsdefizit: Dampfdruckdefizit der Luft. Ein hohes Sättigungsdefizit ist ein Zeichen für niedrige, ein niedriges Sättigungsdefizit ein Zeichen für hohe Luftfeuchtigkeit

Sensu lato: Zusammenfassung aller Arten innerhalb einer bestimmten Gruppe, in unserem Fall beinhaltet *B. burgdorferi* sensu lato alle Mitglieder dieser Pathogengruppe.

Sensu stricto: beinhaltet nur die Arten, die involviert sind, in unserem Fall *B. burgdorferi* selbst.

Sylvatischer Zyklus: Natürlicher, epidemiologischer Zyklus in Populationen von Wirten.

Unempänglich: Wirt der nicht empfänglich für die Infektion mit einem bestimmten Pathogen ist. Unempängliche Wirte können durch infizierte Zecken selbst nicht infiziert werden.

Verdünnungswirt: Wirt, der nicht empfänglich für ein bestimmtes Pathogen ist und somit auch keine Zecken infizieren kann.

Vektor: Ein Arthropod, der ein Pathogen auf einen Wirt während der Blutmahlzeit übertragen kann.

Wirt: Ein Lebewesen, welches einem anderen als Nahrungsquelle und und meist auch als Wohnort dient.

Zoonose: Krankheit, die normalerweise zwischen Wildtieren übertragen wird, aber auch auf den Menschen übertragbar ist.

10. Anhang 1: Häufig vorkommende Zeckenübertragene Krankheiten mit humanpathogenen Potential in Baden-Württemberg (siehe Tabelle 1 im Haupttext)

Borreliose

Borreliose ist in der nördlichen Hemisphäre nach aktuellem Kenntnisstand die häufigste durch Zecken übertragene Infektionskrankheit (Alpers et al. 2004, Stanek 2005, Poggensee et al. 2008).

Die Erkrankung ist gekennzeichnet durch ein Spektrum unterschiedlicher klinischer Manifestationen und Krankheitsbilder, verläuft aber in mehr als 25% der Fälle klinisch unauffällig (Krause & Fingerle 2009). Ein frühes Anzeichen der Infektion stellt die Wanderröte (*Erythema migrans*, EM) dar, eine lokale, meist kreisförmige Hautrötung. Abgesehen vom EM, welches einer späten Manifestation vorausgehen kann, aber nicht muss, zeigen die meisten der chronisch erkrankten Patienten nur Symptome an einem Organsystem (Huppertz et al. 1999).

Die Borreliose ist eine Multisystem-Erkrankung, die Haut, Herz, Nervensystem, Muskel- und Skelettsystem betreffen kann (Stanek 2005). Die humanpathogenen Genospezies scheinen jeweils bestimmte Organsysteme, im Sinne eines Organotropismus, zu befallen. Diese unterschiedlichen Organmanifestationen führt man auch auf die Heterogenität des *Borrelia burgdorferi* sensu lato Komplexes zurück. So wird *Borrelia afzelii* häufig bei Hautmanifestationen und *Borrelia garinii* bei Neuroborreliosen nachgewiesen. *Borrelia burgdorferi* sensu stricto wird vermehrt bei Arthriden nachgewiesen, die aber offensichtlich von allen 3 Spezies hervorgerufen werden können (Eiffert et al. 1998, Wang et al. 1999, Luenemann et al. 2001).

Durch eine rechtzeitige Diagnose und der frühen Therapie des *Erythema migrans* können Spätfolgen der Lyme Borreliose, wie eine Neuroborreliose oder eine Arthritis meist verhindert werden. Andere chronische Manifestationen, wie die Acrodermatitis chronica atrophicans oder eine Herzbeteiligung sind eher selten (<5%)(Krause & Fingerle 2009).

Borreliose kann, wie bereits erwähnt, von mehreren *Borrelia* Arten ausgelöst werden. Mindestens 18 verschiedene Genospezies werden nach derzeitigem Kenntnisstand weltweit unter dem *Borrelia burgdorferi* s.l. Komplex zusammengefasst, die als pathogen für Mensch und Tier gelten (Stanek & Reiter 2011).

Während im US-amerikanischen Raum hauptsächlich *Borrelia burgdorferi sensu stricto* (*B. burgdorferi* s. s.) als Auslöser der Infektion angesehen wird, steht in Europa eine größere Speziesdiversität mit der Erkrankung im Zusammenhang (Baranton et al. 1992, Collares-Peireira et al. 2004, Diza et al. 2004).

Lediglich für *B. burgdorferi sensu stricto* (s.s), *B. afzelii*, *B. garini* und *B. spielmanii* ist die Humanpathogenität eindeutig geklärt (Richter et al. 2006, Fingerle et al. 2008). Für die Genospezies *B. valaisiana*, *B. bisettii* und *B. lusitaniae* wird ein Zusammenhang mit Borreliose beim Menschen vermutet. Es wurde aber bisher kein eindeutiger Nachweis erbracht (Fingerle et al. 2008).

Untersuchungen von Wilske et al. (1992, 1996) zeigten, dass bei Isolaten der humanpathogenen Spezies *B. burgdorferi sensu stricto*, *B. afzelii*, *B. garinii* und *B. valaisiana* ausgeprägte Unterschiede hinsichtlich ihrer Oberflächenproteine OspA und OspC auftreten. Wilske et al. (1992, 1996) definierten deshalb acht verschiedene OspA-Typen, basierend auf einer unterschiedlichen Reaktivität mit monoklonalen Anti-OspA-Antikörpern. Die Spezies *B. burgdorferi sensu stricto* und *B. afzelii* entsprechen OspA- Typ 1 beziehungsweise OspA- Typ 2 und sind homogen in ihrem OspA- Muster. Eine in sich sehr heterogene Art ist *B. garinii*. Bisher wurde sie in sechs verschiedene OspA- Typen (3 bis 8) unterteilt (Wilske et al. 1992, 1996).

Da verschiedene OspA-Typen mit unterschiedlichen klinischen Manifestationsformen einer Lyme Borreliose assoziiert werden, hat die Heterogenität der Borrelien eine große Bedeutung für die Diagnostik (Wilske et al. 1992). *B. burgdorferi sensu stricto* (OspA-Typ 1) wird häufig bei Arthritiden und *B. afzelii* (OspA-Typ 2) vermehrt bei Hautmanifestationen der Lyme Borreliose, wie einer Acrodermatitis atrophicans, nachgewiesen (Wilske et al. 1996). *B. garinii* ist die aus Liquor am häufigsten isolierte Spezies, weshalb sie vermutlich mit der klinischen Manifestation einer Neuroborreliose assoziiert ist (Wilske et al. 1996). Der häufig im Vektor *I. ricinus* detektierte OspA-Typ 6 konnte selten in klinischem Material nachgewiesen werden, während der häufig aus dem Liquor isolierte OspA-Typ 4 bisher nur einmal aus *I. ricinus* angezüchtet werden konnte (Hu et al. 2001).

Desweiteren zeigen viele Untersuchungen die Assoziation verschiedener Genospezies mit einem bevorzugten Reservoirwirt. So konnten aus Kleinsäugetieren wie *Apodemus sylvaticus* und

Erinaceus europaeus hauptsächlich *B. afzelii*, *B. garinii* (OspA Serotyp 4) und *B. spielmanii* isoliert werden (Humair et al. 1995, Kurtenbach et al. 1998 a, b, Humair et al. 1999, Hu et al. 2001, Huegli et al. 2002, Richter et al. 2004, Skuballa et al. 2007, unpublished data).

Borrelia garinii (mit Ausnahme des OspA Typ 4!) und *B. valaisiana* sind hauptsächlich mit verschiedenen Vogelspezies vergesellschaftet (Humair et al. 1998, Richter et al. 2000, Humair 2002; Kurtenbach et al. 2002, Hanincova et al., 2003). Aufgrund der Verschiedenheit zu dem anderen *B. garinii* Stämmen, wurde *B. garinii* OspA Serotyp 4 allerdings kürzlich in *B. bavariensis* sp. umbenannt (Margos et al. 2009).

Man kann davon ausgehen, dass zwei hauptsächliche Transmissionszyklen bei der Verbreitung von *B. burgdorferi* s. l. eine Rolle spielen: der Kleinsäuger-Zecke- und der Vogel-Zecke-Zyklus (Gern et al. 1998, Kurtenbach et al. 1998 a, b, Kurtenbach et al. 2001, 2002). *B. burgdorferi* s.s. nimmt an beiden Zyklen teil und scheint nicht spezialisiert zu sein. Oehme et al. 2002 ermittelten für in Baden-Württemberg Infektionsraten für *B. afzelii* von 37%, gefolgt von *B. garinii* (22%), *B. valaisiana* (14%) und *B. burgdorferi sensu stricto* (10%) in Patientenzecken. *B. spielmanii* (früher A14S) wurde ebenfalls in Patientenmaterial und Zecken in BW nachgewiesen (Oehme et al. 2002). Möglicherweise stellt der Igel (*Erinaceus europaeus*) neben dem Siebenschläfer ein Haupterregerreservoir für diese *Borrelia*-Spezies dar (Richter et al. 2006, Skuballa et al. 2007).

FSME

Die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) ist die häufigste durch Arthropoden übertragene Viruskrankheit in Europa. Sie kann mit einer fieberhaften Erkrankung unter Beteiligung der Hirnhäute (Hirnhautentzündung, Meningitis), in schweren Fällen aber auch das Gehirn und Rückenmarks einhergehen kann (Bröker & Gniel 2003).

Das FSME-Virus, der Erreger dieser Erkrankung, gehört zur Familie der Flaviviridae. Flaviren werden hauptsächlich durch Stechmücken übertragen, einige Vertreter, wie, z B. das FSME Virus, nutzen allerdings Zecken als Vektoren (Mandl et al. 1993, Kuno 2007).

Eine Einschätzung des FSME-Erkrankungsrisikos wird anhand der kreisbezogenen **Inzidenz** der nach IfSG gemeldeten und dem RKI übermittelten FSME-Erkrankungen vorgenommen (RKI 2007). Flächendeckende Untersuchungen zum Nachweis des FSME-

Virus in Zecken und/oder Antikörpern bei Wildtieren, die als Virusreservoir eine Rolle spielen, liegen aktuell nur für wenige Gebiete vor (RKI 2009).

Für das Infektionsrisiko ist die Virus-Trägerrate von *Ixodes ricinus*-Populationen in den FSME-Endemiegebieten von entscheidender Bedeutung. Je höher die Zahl virustragender und damit potentiell infektiöser Zecken ist, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit von Infektionen beim Menschen und von möglichen menschlichen Erkrankungen (Dobler 1998). Ein Kreis wird als Risikogebiet definiert, wenn die Inzidenz im Kreis selbst oder in der Kreisumgebung signifikant den festgelegten Grenzwert von 1 FSME Erkrankung/ 100.000 Einwohner/5 Jahre übersteigt (RKI 2009). Die Zahl der gemeldeten menschlichen Erkrankungsfälle zeigte in den letzten Jahren einen deutlichen Anstieg, mit in den letzten Jahren durchschnittlich 140 Fällen in Baden-Württemberg. Immer wieder werden neue Endemiegebiete entdeckt, wie zum Beispiel im Schwarzwald, wo zahlreiche schwere FSME-Fälle aufgetreten sind (Kaiser 1999). Dennoch gibt es Kreise in Baden-Württemberg, die zwar formal an Risikogebiete grenzen, in denen aber niemals FSME-Erkrankungen auftraten (LK Alzey-Worms, LK Germersheim, LK Rhein-Pfalz-Kreis, SK Speyer, SK Worms). Weil der Rhein in dieser Region eine plausible natürliche Grenze für Naturherde darstellt, wurden diese 5 Kreise nicht zu Risikogebieten erklärt (RKI 2009). Aufgrund von früheren -allerdings nur sporadischen Untersuchungen- ging man davon aus, dass in Endemiegebieten ca. jede 1000. Zecke Träger von FSME-Viren sei (Maier et al. 2003). Neuere Untersuchungen des Landesgesundheitsamtes BW zeigen aber, dass in den bekannten Endemiegebieten ca. jede 20.-50. Zecke ein potentieller FSME-Überträger ist (Maier et al. 2003). In den im Großraum Freiburg gelegenen Elztal, Kinzigtal und Simonswäldertal wurden Werte von 1,4 - 2,2% (n=2.590), im Bereich nördlicher Bodensee Werte von 1,2 - 2,3% (n=2.057) registriert. Im Großraum Stuttgart und Pforzheim lagen die Werte bei 0,3-0,8% (n=3.488) bzw. bei 0-0,5% (n=1.054) (Oehme et al. 2002). Die höchsten Werte wurden im Gebiet des Schwarzwaldes mit 3,4% (Nymphen) und 4,8% (Adulte) ermittelt (Maier et al. 2003). Als einer der Gründe für diese Anstiege der Erkrankungszahlen wird u.a. ein intensiverer Viruszyklus mit höheren Trägerraten der Zecken als Folge milderer Winter diskutiert (Dobler 1998, Alpers et al. 2004).

Weitere, weniger bekannte zeckenübertragene Erkrankungen

Es gibt eine Reihe an Vektor-übertragenen Erregern, die zwar zum Teil seit längeren bekannt sind, aber bisher nicht im Interesse der Öffentlichkeit standen (Blanco & Oteo 2002, Alpers et al. 2004, Haas et al. 2004, Bogdan 2009). Bei diesen „(Re)-Emerging infectious diseases“ gibt

es noch erheblichen Forschungsbedarf hinsichtlich ihrer Verbreitung und Bedeutung (Sreter et al. 2004, Dobler & Wölfel 2009). Neu auftretende, zuvor unbekannte Erreger erwiesen sich in den letzten beiden Jahrzehnten immer wieder als Ursache von Erkrankungen (Hildebrandt et al. 2007). Der Anstieg der Fallzahlen könnte zum Teil am erhöhten Bewusstsein für diese Krankheiten sowie der Weiterentwicklung diagnostischer Möglichkeiten liegen (Alpers et al. 2004). Im Durchschnitt wurde nahezu jährlich ein neuer Erreger identifiziert (Haas et al. 2004).

Auch bei den Zeckenübertragenen Erregern gibt es neu bzw. erneut auftretende Erreger, die bisher wenig bearbeitet wurden, wie z.B. Vertreter der Ordnung Rickettsiales (Parola et al. 2005). Bei den Bakterien der Familien Rickettsiaceae (Genera *Rickettsia* und *Orientia*), Anaplasmataceae (Genera *Anaplasma*, *Ehrlichia* und *Neorickettsia*) und Coxiellaceae (Order: Legionellales, Genus *Coxiella*) handelt es sich um kleine gram-negative Stäbchen, die sich nur in Wirtszellen vermehren können (obligat intrazelluläre Bakterien) (Bogdan 2009). Rickettsiaceae und Anaplasmataceae sind genetisch verwandt und gehören zur Ordnung der Rickettsiales innerhalb der Klasse der α -Proteobakterien. Demgegenüber werden Coxiellaceae den genetisch weit entfernten γ -Proteobakterien zugeordnet (Bogdan 2009).

Anaplasmosen

Anaplasma phagocytophilum verursacht eine akute, fieberhafte Erkrankung des Menschen mit vielfältigen, unspezifischen Symptomen, wie Kopf- und Gliederschmerzen, Husten und Übelkeit (Alpers et al. 2004, Stanek 2005, Silaghi et al. 2008).

Obwohl die veterinärmedizinische Bedeutung schon 1910 von Theiler erkannt wurde und im Laufe der Zeit verschiedene Spezies identifiziert wurden, konnten die Erreger erstmalig 1990 mit einer Erkrankung beim Menschen in Verbindung gebracht werden (Dumler et al. 2005). Seit 1990 haben in den USA die Fälle deutlich zugenommen, und den Infektionen wird jetzt auch vermehrt in Europa Beachtung geschenkt. Serologische Untersuchungen weisen darauf hin, dass der Erreger weit verbreitet ist (Dumler et al. 2005).

Aufgrund von Sequenzhomologien der 16S rDNA wurden die einstige Gattung *Ehrlichia* in 3 Genogruppen eingeteilt: *Ehrlichia canis*- Genogruppe, *Ehrlichia phagocytophila*- Genogruppe und *Ehrlichia sennetsu*- Gruppe (Dumler et al. 1995). Neuere Untersuchungen führten zu Neuordnungen der Gattungen innerhalb der Familien Rickettsiaceae und Anaplasmataceae,

weshalb die Vertreter von *E. phagocytophila*, *E. equi* und die Erreger der Humanen Granulozytären Anaplasiose (HGA) jetzt gemeinsam unter dem Namen *A. phagocytophilum* geführt werden (Dumler et al. 2005). *A. phagocytophilum* Stämme kommen in vielen Tierarten vor, die Hauptreservoir humanpathogener Stämme sind derzeit allerdings noch unbekannt (von Löwenich et al. 2003, Sreter et al. 2004).

In Baden-Württemberg konnten Oehme et al. (2002) bei Waldarbeitern in regionaler Abhängigkeit, bei 5% bis 16% positive Antikörpertiter gegen *A. phagocytophilum* nachweisen. Die Bewertung der serologischen Befunde ist jedoch schwierig, insbesondere angesichts des Mangels an klinisch nachweisbaren Erkrankungen in Deutschland (Alpers 2004). Insgesamt ist die Datenlage für die HGA in Deutschland noch unzureichend.

Von verschiedene Untersuchungsgebieten in Deutschland wurden bisher ähnliche Prävalenzen für *A. phagocytophilum* in *I. ricinus*-Zecken ermittelt: 2,3% in Thüringen (Hildebrandt et al. 2003), 2,9% in Bayern (Silaghi et al. 2008) und durchschnittlich 1,0% in Baden-Württemberg (Hartelt et al. 2004, 2008). In Bayern und Baden-Württemberg von Hunden abgesammelte Zecken zeigten eine Durchseuchungsrate von 4,7% (2,6% bis 7,3%) (Leonhard 2005). Hartelt et al. (2008) konnten in Nagern in Baden-Württemberg eine durchschnittliche Prävalenz von 5,3% feststellen. Dabei fiel eine deutlich höhere Durchseuchung bei der Familie der Arvicolidae (10,3%) im Vergleich zu den untersuchten Muriden (0,4%) auf. Skuballa et al. (2010) fanden in Igel und deren Zecken *A. phagocytophilum*, was diese synanthrope Spezies als möglichen Reservoirwirt erscheinen läßt. Noch besteht erheblicher Forschungsbedarf, um die Epidemiologie dieser Erkrankung vollständig zu verstehen.

Rickettsiosen

Zu der Gruppe der Rickettsiosen gehören eine Reihe von fiebrigen Erkrankungen, die weltweit vorkommen und verschiedenartige Krankheitsbilder verursachen (Fournier et al. 2005). Rickettsien sind als intrazellulär lebende Bakterien mit Arthropoden assoziiert und können auf Vertebraten über Speichel oder Fäzes, sowie über Blut oder Aerosol übertragen werden. Neben Zecken als Überträger werden auch Läuse, Flöhe und Milben in Betracht gezogen (Dobler & Wölfel 2009).

Arten der Gattung *Rickettsia* werden in verschiedene Gruppen unterteilt: die durch Zecken übertragene der Fleckfieber- Gruppe (spotted fever group, SFG), die Epidemische-Fleckfieber-Gruppe und die Gruppe der Ahnen-Rickettsien (Dobler & Wölfel 2009).

Viele Rickettsien sind offenbar humanpathogen (Fournier et al. 2005, Wölfel & Dobler 2009). In den letzten Jahren konnten eine Reihe von bisher unbekanntem Rickettsien-Arten mit neuen Krankheitsbildern assoziiert werden. Rickettsien gehören damit zu den „emerging“, also neu auftretenden Krankheiten (Dobler & Wölfel 2009).

In Deutschland kommen mindestens 7 verschiedene Rickettsienarten vor (siehe Dobler und Wölfel 2009). In einer Studie in Baden-Württemberg (Hartelt et al. 2004) lag die Prävalenz von *Rickettsia helvetica* in *I. ricinus* bei 8,9%.

Coxiella burnetii

Q-Fieber ist eine durch den Erreger *Coxiella burnetii* verursachte fast weltweit verbreitete Zoonose (Alpers et al. 2004). Wiederkäuer und viele andere Säuger und Vögel bilden das Reservoir für diesen Erreger, wobei Zecken als Vektoren für die Übertragung zwischen den Tieren dienen können (Maurin & Raoult 1999). In Tieren verläuft die Krankheit meist asymptomatisch, es wird jedoch eine Assoziation mit Fertilitätsstörungen und Aborten beobachtet (Maurin & Raoult 1999, Alpers et al. 2004). Die Übertragung des hoch infektiösen Bakteriums auf den Menschen erfolgt auf aerogenem Weg durch Aerosole, die beim Lammeln entstehen, durch Zeckenkot in Schafflies oder durch coxiellenhaltigem Staub. z. B. auf Wanderwegen, die von Schafen genutzt werden. Beim Menschen nimmt die Infektion in ca. der Hälfte der Fälle einen schweren, Grippe-ähnlichen Verlauf, der häufig durch Pneumonien und Hepatitis kompliziert wird (Maurin & Raoult 1999).

In einer Studie von Sting et al. 2004 wurden Schafe und deren Zecken (*Dermacentor* sp.) auf das Vorhandensein von *C. burnetii* untersucht. Der Erreger wurde in einer nuchternen Zecke und im Zeckenkot auf Schafen bei Lörrach gefunden. Serologische Untersuchungen bestätigten das Auftreten von *C. burnetii* in 4 Landkreisen in Baden-Württemberg. Die Seroprävalenz reichte von 0,9-10,2% im ELISA (Sting et al. 2004).

Die Übertragung durch Aerosole scheint am bedeutendsten zu sein. Ob Zecken ebenfalls eine wichtige Rolle als Vektoren von *C. burnetii* in der Epidemiologie des Q-Fiebers spielen, bleibt zu untersuchen.

Babesiose

Neben Bakterien und Viren können auch Protozoen von Zecken übertragen werden. In der Veterinärmedizin wird der Babesien schon seit Ende des 19. Jahrhunderts große Aufmerksamkeit geschenkt. 1888 beschrieb Babes erstmalig diese Erkrankung bei Rindern, die sich als verheerende Viehseuche, verursacht durch *Babesia bigemina*, manifestiert (siehe Krause 2002).

Die canine Babesiose, eine weit verbreitete Erkrankung der Hunde, die von *Babesia canis* verursacht wird, ist eine hochfieberhafte Erkrankung mit Anaemie und Ikterus, die in vielen Fällen innerhalb weniger Tage zum Tod führt (Barutzki et al. 2007). In Deutschland ist die canine Babesiose eine autochtone Erkrankung (Barutzki et al. 2007).

Der erste Fall einer europäischen Babesiose beim Menschen wurde 1956 in Jugoslawien beobachtet. Dies war ein splenektomierter Patient, der an der rasant verlaufenden Infektion starb (siehe Hildebrandt 2007). Berichte über klinisch manifestierte Babesien-Erkrankungen beim Menschen beziehen sich in der Regel in Europa auf *B. divergens*, in Amerika auf *B. microti* (Herwaldt et al. 2003). Die Autoren entdeckten auch eine mit *B. divergens* verwandte Babesien-Art (*Babesia* sp., EU1). Hildebrandt et al. konnten erstmalig 2007 eine autochtone Infektion von *B. microti*, bei einer Frau aus Deutschland nachweisen. Vereinzelt wurden aber auch andere Arten (z.B. *B. bovis*, *B. canis* *B. sp.*) beim Menschen gefunden (Kjemtrup & Conrad 2000), so dass zu erwarten ist, dass bei genauerer weitere Arten im Menschen nachgewiesen werden.

In Baden-Württemberg wurde in Nagern eine Prävalenz von 0,8% für *B. microti* nachgewiesen (Hartelt et al. 2008). In positiv getesteten *I. ricinus* Zecken aus Baden-Württemberg (Infektionsrate 1,0%) hingegen, waren vorrangig *B. divergens* (90,0%) zu finden. *B. microti* konnte nur in 3 Zecken nachgewiesen werden (Hartelt et al. 2004).

Es gibt noch eine Reihe an weiteren, Zeckenübertragenen Erkrankungen in Mitteleuropa, die in Tabelle 1 des Haupttextes aufgelistet sind und neue Erreger wurden entdeckt. Da die Daten zur Durchseuchung von Zecken mit verschiedenen Pathogenen in Baden-Württemberg fast ausschließlich durch die Mitarbeiter des Landesgesundheitsamtes Stuttgarts erhoben wurden, liegen Daten zu den Verbreitungsgebieten und der Epidemiologie bisher nur lückenhaft vor.

Lediglich für FSME-Infektionen gibt es eine deutschlandweite Meldepflicht, was zu verlässlichen, flächendeckenden Daten innerhalb Baden-Württembergs führte. Die anderen Zeckenübertragenen Krankheiten unterliegen nicht der Meldepflicht und wurden daher nur punktuell in Baden-Württemberg nachgewiesen. Eine Zuordnung zu bestimmten Klimabereichen, Landnutzungstypen oder tierischen Lebesgemeinschaften lässt sich bisher nicht vornehmend. Selbst für die verschiedenen *Borrelia*-Arten mit ihren unterschiedlichen Krankheitsverläufen beim Menschen zeichnet sich noch kein Bild ab. Hier besteht noch großer Forschungsbedarf.

Literatur

- Alpers K, Stark K, Hellenbrand W, Ammon A (2004) Zoonotische Infektionen beim Menschen. Übersicht über die epidemiologische Situation in Deutschland. Bundesgesundheitsbl-Gesundheitsforsch-Gesundheitsschutz 47: 622-632
- Baranton G, Postic D, Saint Girons G, Boerlin P, Piffaretti JC, Assous M, Grimont PAD (1992) Delineation of *Borrelia burgdorferi* sensu stricto, *Borrelia garinii* sp. nov., and group VS461 associated with Lyme disease. Int J Syst Bact 42: 378-83.
- Barutzki D, Reule M, Scheunemann R, Heile C, Schein E (2007) Die Babesiose des Hundes. Eine autochthone Erkrankung in Deutschland. Deutsches Tierärzteblatt 3: 284-292
- Blanco JR, Oteo JA (2002) Human granulocytic ehrlichiosis in Europe. Clin Microbiol Inf 8: 763-772
- Bogdan C (2009) Rickettsiaceae (*Rickettsia*, *Orientia*), Anaplasmataceae (*Anaplasma*, *Ehrlichia*, *Neorickettsia*) und Coxiellaceae. In: Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie, Seite 393-401. Available at: http://dx.doi.org/10.1007/978-3-540-46362-7_47.
- Bröker M, Gniel D (2003) Neue FSME-Naturherde von Nord-bis Südeuropa. Impfdialog 2: 71-74
- Collares-Pereira M, Couceiro S, Franca I, Kurtenbach K, Schafer SM, Vitorino L, et al. (2004) First isolation of *Borrelia lusitaniae* from a human patient. J Clin Microbiol 42: 1316-8.
- Diza E, Papa A, Vezyri E, Tsounis S, Milonas I, Antoniadis A (2004) *Borrelia valaisiana* in cerebrospinal fluid. Emerg Inf Dis 10: 1692-1693.
- Dobler G (1998) Durchseuchung von Zecken in Bayern und Baden-Württemberg mit FSME Zusammenfassung von zwei Pressekonferenzen der Landesarbeitsgruppen

- “Zeckenübertragende Erkrankungen” von Bayern und Baden-Württemberg. Internist 39: 231-232
- Dobler G, Wölfel R (2009) Fleckfieber und andere Rickettsiosen. Alte und neu auftretende Infektionen in Deutschland. Deutsches Ärzteblatt 106: 348-354
- Dumler J, Asanovich K, Bakken J, Richter P, Kimsey R, Madigan J (1995) Serologic cross-reactions among *Ehrlichia equi*, *Ehrlichia phagocytophila*, and human granulocytic *Ehrlichia*. J Clin Microbiol 33: 1098-1103
- Dumler JS, Choi KS, Garcia-Garcia JC, Barat NS, Scorpio DG, Garyu JW, Grab DJ, Bakken JS (2005) Human granulocytic anaplasmosis and *Anaplasma phagocytophilum*. Emerg Inf Dis 11: 1828–1834
- Eiffert H, Karsten, Thomssen R, Christen HJ (1998) Characterization of *Borrelia burgdorferi* strains in Lyme Arthritis. Scand J Inf Dis 30: 265-268
- Fingerle V, Schulte-Spechtel UC, Ruzic-Sabljić E, Leonhard S, Hofmann H, Weber K, Pfister K, Strle F, Wilske B (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. Int J Med Microbiol 298: 279-290
- Haas W, Krause G, Marcus U, Stark K, Ammon A, Burger R (2004) Emerging Infectious Diseases. Internist 45: 684-692
- Hartelt K, Oehme R, Frank H, Brockmann SO, Hassler D, Kimmig P (2004) Pathogens and symbionts in ticks: prevalence of *Anaplasma phagocytophilum* (*Ehrlichia* sp.), *Wolbachia* sp., *Rickettsia* sp., and *Babesia* sp. in southern Germany. Int J Med Microbiol 293: 86–92
- Hartelt K, Pluta S, Oehme R, Kimmig P (2008) Spread of ticks and tick-borne diseases in Germany due to global warming. Parasitol Res 103: 109–S116
- Herwaldt BL, Cacciò S, Gherlinzoni F, Aspöck H, Slemenda SB, Piccaluga PP, Martinelli G, Edelhofer R, Hollenstein U, Poletti G, others (2003) Molecular characterization of a non-*Babesia divergens* organism causing zoonotic babesiosis in Europe. Emerg Inf Dis 9: 942-948
- Hildebrandt A, Schmidt K, Wilske B, Dorn W, Straube E, Fingerle V (2003) Prevalence of four species of *Borrelia burgdorferi* sensu lato and coinfection with *Anaplasma phagocytophila* in *Ixodes ricinus* ticks in Central Germany. Eur J Clin Microbiol Inf Dis 22: 364-367

- Hildebrandt A, Hunfeld K, Baier M, Krumbholz A, Sachse S, Lorenzen T, Kiehntopf M, Fricke HJ, Straube E (2007) First confirmed autochthonous case of human *Babesia microti* infection in Europe. *Eur J Clin Microbiol Inf Dis* 26: 595-601
- Hu CM, Wilske B, Fingerle V, Lobet Y, Gern L (2001) Transmission of *Borrelia garinii* OspA serotype 4 to BALB/c mice by *Ixodes ricinus* ticks collected in the field. *J Clin Microbiol* 39: 1169-71
- Huegli D, Hu CM, Humair PF, Wilske B, Gern L, Fingerle V, Lobet Y (2002) *Apodemus* species mice are reservoir hosts of *Borrelia garinii* OspA serotype 4 in Switzerland
Transmission of *Borrelia garinii* OspA serotype 4 to BALB/c mice by *Ixodes ricinus* ticks collected in the field. *J Clin Microbiol* 40: 4735-4737
- Humair PF, Peter O, Wallich R, Gern L (1995) Strain variation of Lyme disease spirochetes isolated from *Ixodes ricinus* ticks and rodents collected in two endemic areas in Switzerland. *J Med Entomol* 32: 433-438
- Humair PF, Postic D, Wallich R, Gern L (1998) An avian reservoir (*Turdus merula*) of the Lyme borreliosis spirochetes. *Zentralblatt Bakteriologie* 287: 521-538
- Humair PF, Rais O, and Gern L (1999) Transmission of *Borrelia afzelii* from *Apodemus* mice and *Clethrionomys* voles to *Ixodes ricinus* ticks: differential transmission pattern and overwintering maintenance. *Parasitology* 118: 33-42
- Humair PF (2002) Birds and *Borrelia*. *Int J Med Microbiol* 291 Suppl 33: 70-74
- Huppertz HI, Bohme M, Standaert SM, Karch H, Plotkin SA (1999) Incidence of Lyme borreliosis in the Wuerzburg region of Germany. *Eur J Clin Microbiol Inf Dis* 18: 697-703
- Kaiser R (1999) The clinical and epidemiological profile of tick-borne encephalitis in southern Germany 1994-98: A prospective study of 656 patients. *Brain* 122: 2067-2078
- Kjemtrup AM, Conrad PA (2000) Human babesiosis: an emerging tick-borne disease. *Int J Parasitol* 30: 1323-1337
- Krause A, Fingerle V (2009) Lyme-Borreliose. *Zeitschrift für Rheumatologie* 68:239-254
- Krause PJ (2002) Babesiosis. *Med Clin N Am* 86: 361-373
- Kuno G (2007) Host range specificity of flaviviruses: correlation with in vitro replication. *J Med Entomol* 44: 93-101
- Kurtenbach K, Peacey M, Rijpkema SGT, Hoodless AN, Nuttall PA, Randolph SE (1998a) Differential transmission of the genospecies of *Borrelia burgdorferi* sensu lato by game birds and small rodents in England. *Appl Env Microbiol* 64: 1169-1174

- Kurtenbach K, Sewell HS, Ogden NH, Randolph SE, Nuttall PA (1998b) Serum complement sensitivity as a key factor in Lyme disease ecology. *Inf Immun* 66: 1248
- Kurtenbach K, De Michelis S, Sewell HS, Etti S, Schäfer SM, Hails R, Collares-Pereira M, Santos-Reis M, Hanincova K, Labuda M, others (2001) Distinct combinations of *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies found in individual questing ticks from Europe. *Appl Env Microbiol* 67: 4926
- Kurtenbach K, De Michelis S, Etti S, Schäfer SM, Sewell HS, Brade V, Kraiczy P (2002) Host association of *Borrelia burgdorferi* sensu lato—the key role of host complement. *Trends Microbiol* 10: 74–79
- Leonhard S (2005) Untersuchungen zur Häufigkeit von *Borrelia burgdorferi* sensu lato, *Anaplasma phagocytophilum* und *Babesia* spp in *Ixodes ricinus* aus Bayern und Baden-Württemberg. Dissertation, Ludwig-Maximilians-Universität München.
- Luenemann JD, Zarmas S, Priem S, Franz J, Zschenderlein R, Aberer E, Klein R, Schouls L, Burmester GR, Krause A (2001) Rapid typing of *Borrelia burgdorferi* sensu lato species in specimens from patients with different manifestations of Lyme Borreliosis. *J Clin Microbiol* 39: 1130-1133
- Maier W, Grunewald J, Habedank B, Hartelt K, Kampen H, Kimmig P, Naucke T, Oehme R, Vollmer A, Schöler A, Schmitt C (2003) Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. Umweltbundesamt, Forschungsbericht 200 61 218/11, Berlin
- Mandl CW, Holzmann H, Kunz C, Heinz FX (1993) Complete genomic sequence of Powassan virus: evaluation of genetic elements in tick-borne versus mosquito-borne flaviviruses. *Virology* 194: 173-184
- Margos G, Vollmer SA, Cornet M, Garnier M, Fingerle V, Wilske B, Bormane A, Vitorino L, Collares-Pereira M, Drancourt M, Kurtenbach K (2009) A new *Borrelia* species defined by multilocus sequence analysis of housekeeping genes. *Appl Env Microbiol* 75: 5410-5416
- Maurin M, Raoult D (1999) Q Fever. *Clin Microbiol Rev* 12: 518-553
- Oehme R, Hartelt K, Backe H, Brockmann S, Kimmig P (2002) Foci of tick-borne diseases in southwest Germany. *International Journal of Medical Microbiology* 291: 22–29
- Parola P, Davoust B, Raoult D (2005) Tick- and flea-borne rickettsial emerging zoonoses. *Vet Res* 36: 469-492

- Poggensee G, Fingerle V, Hunfeld KP, Kraiczy P, Krause A, Matuschka FR, Richter D, Simon M, Wallich R, Hofman H, Kohn B, Lierz M, Linde A, Schneider T, Straubinger R, Stark K, Süß J, Talaska T, Jansen A (2008) Lyme-Borreliose: Forschungsbedarf und Forschungsansätze. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz 51: 1329-1339
- Richter D, Postic D, Sertour N, Livey I, Matuschka FR, Baranton G (2006) Delineation of *Borrelia burgdorferi* sensu lato species by multilocus sequence analysis and confirmation of the delineation of *Borrelia spielmanii* sp. nov. Int J Sys Evol Microbiol 56: 873-81
- Richter D, Spielman A, Komar N, Matuschka FR (2000) Competence of American robins as reservoir hosts for Lyme disease spirochetes. Emerg Inf Dis 6: 133-138
- Robert Koch-Institut: FSME: Risikogebiete in Deutschland. Epidemiol Bull 18: 165–176
- Robert Koch-Institut: Risikogebiete der Frühsommer- Meningoenzephalitis (FSME) in Deutschland. Epidemiol Bull 15: 119–135
- Silaghi C, Gilles J, Höhle M, Fingerle V, Just FT, Pfister K (2008) *Anaplasma phagocytophilum* infection in *Ixodes ricinus*, Bavaria, Germany. Emerg Inf Dis 14: 972
- Skuballa J, Oehme R, Hartelt K, Petney T, Bücher T, Kimmig P, Taraschewski H (2007) European hedgehogs as hosts for *Borrelia* spp., Germany. Emerg Inf Dis 13: 952-953
- Skuballa J, Pfäffle M, Petney TN, Taraschewski H (2010): Molecular detection of *Anaplasma phagocytophilum* in the European hedgehog (*Erinaceus europaeus*) and its ticks. Vector Borne and Zoonotic Diseases 10(10):1055-1057.
- Sreter T, Sreter-Lancz Z, Szell Z, Kalman D (2004) *Anaplasma phagocytophilum*: an emerging tick-borne pathogen in Hungary and Central Eastern Europe. Ann Trop Med Parasitol 98: 401-405
- Stanek G (2005) Durch Zecken übertragbare Krankheitserreger in Mitteleuropa. Wiener Klin Wochenschr 117: 373-380
- Stanek G, Reiter M (2011) The expanding Lyme *Borrelia* complex--clinical significance of genomic species? Clin Microbiol Infect Dis 17: 487-493.
- Sting R, Breitling N, Oehme R, Kimmig P (2004) Untersuchungen zum Vorkommen von *Coxiella burnetii* bei Schafen und Zecken der Gattung *Dermacentor* in Baden-Württemberg. Deutsche Tierärztliche Wochenschr 111: 390-394

- Theiler A (1910) *Anaplasma marginale* (gen. and spec. nov.). The marginal points in the blood of cattle suffering from a specific disease. Report to the Government, Transvaal, South Africa. Veterinary Bacteriology, Department of Agriculture 1908-09: pp. 7–64
- Von Loewenich FD, Baumgarten BU, Schroppel K, Geissdorfer W, Rollinghoff M, Bogdan C (2003) High diversity of ankA sequences of *Anaplasma phagocytophilum* among *Ixodes ricinus* ticks in Germany. J Clin Microbiol 41: 5033-5040
- Wang G, van Dam AP, Schwartz I, Dankert J (1999) Molecular typing of *Borrelia burgdorferi sensu lato*: taxonomic, epidemiological, and clinical implications. Clin Microbiol Rev 12: 633
- Wilske B, Barbour AG, Bergstrom S, Burman N, Restrepo BI, Rosa PA, Schwan T, Soutschek E, Wallich R (1992) Antigenic variation and strain heterogeneity in *Borrelia* spp. Res Microbiol 143: 583-96
- Wilske B, Busch U, Eiffert H, Fingerle V, Pfister HW, Rossler D, Preac-Mursic V (1996) Diversity of OspA and OspC among cerebrospinal fluid isolates of *Borrelia burgdorferi sensu lato* from patients with neuroborreliosis in Germany. Med Microbiol Immunol 184: 195-201

11. Anhang 2: Ökologie der Arten *Dermacentor marginatus*, *D. reticulatus* und *Rhipicephalus sanguineus*

Dermacentor marginatus

Verbreitung

Liebisch und Rahmann (1976b) beschreiben *D. marginatus* als Wärme liebende Zecke, die in zahlreichen südeuropäischen Ländern vorkommt, nach Norden hin bis in wärmere Teile Mitteleuropas, im Osten über Süd- und Mittelrussland bis nach Westsibirien, nach Süden bis Syrien. Die Literatur berichtet bisher von *D. marginatus*-Funden in Frankreich, Ex-Jugoslawien, Polen, Schweiz, Spanien, Deutschland (Boch, 1983, Liebisch und Rahmann 1976a, b), Marokko, Italien (Hillyard 1996), Ungarn (Babos 1964) und im Osten über Süd- und Mittelrussland (Enigk 1947 b) bis nach Westsibirien (Pomerancev 1950).

In Deutschland wurde *D. marginatus* im Rheingraben von Rheinfeldern bis in die Gegend von Mainz und Wiesbaden entdeckt. Auch im Maintal wurde die Zecke nachgewiesen. Das Areal umfasst auch die Mainnebenflüsse Fränkische Saale, Lohr, Murg und Rensch. Weitere Gebiete, in denen *D. marginatus* nachgewiesen wurde, sind Wiesloch, Karlsruhe, das Pfälzer Bergland, der Süd-Ost-Abhang des Westerwaldes, Wetzlar im Dillkreis, der Nord-Ost-Rand der Schwäbischen Alb, der Osthang des Schwarzwaldes, der Neckar-Raum und das Gebiet um Saarbrücken (Gothe et al. 1987, Gothe et al. 1989, Gothe und Schmid 1995, Liebisch und Rahmann 1976a, b, Liebisch et al. 1985).

Ökologie

Bei dem umrissenen Verbreitungsgebiet handelt es sich um die wärmsten und trockensten Teile Deutschlands. Im Rheintal liegen die mittleren Temperaturen im Januar über +10°C und die mittleren jährlichen Niederschlagssummen liegen unter 700 mm (Liebisch und Rahmann 1976a). Die Böden in spezifischen *D. marginatus*-Habitaten sind Muschelkalke und Flusssande, die sich leicht erwärmen bzw. die Temperatur lange halten. Die Vegetation ist xerophil und hat häufig Steppencharakter (Liebisch und Rahmann 1976a). Liebisch und Rahmann (1976a) geben als Charakterpflanzen von *D. marginatus* *Brachypodium pinnatum* (Fiederzwenke) und *Prunus spinosa* (Schlehdorn) an. Immler (1973) machte in seiner Arbeit deutlich, dass eine vorhandene Moosschicht wichtig für die Zecke ist, um sich bei schlechten Witterungsbedingungen dorthin ein zurückziehen, sich zu häuten oder Eier ablegen zu können.

Nach Liebisch und Rahmann (1976b) gibt es im Laufe eines Jahres 2 Aktivitätsgipfel von *D. marginatus*. Die Hauptaktivität der adulten Zecke ist von Februar bis April zu beobachten, einen zweiten Aktivitätsgipfel hat sie zwischen Ende August und Ende Oktober. Ihre Larven und Nymphen sind von Anfang Juni bis Mitte August aktiv.

Während Larven und Nymphen an kleinen frei lebenden Säugern (Mäusen, Kaninchen etc.) saugen, benötigen die adulten Zecken große Säuger. In Süddeutschland kommen die Zecken dabei vor allem an Schafen vor, wobei sie hauptsächlich in der Nackengegend tief im Vlies verankert zu finden sind (Liebisch und Rahmann 1976b).

Human- und Veterinärmedizinische Bedeutung

Nach Liebisch und Rahmann (1976b) fungieren beide *Dermacentor*-Arten als Vektor vieler Tier- und Humanpathogene. Dazu gehören pathogene Viren, Rickettsien, Bakterien und Protozoen. Sowohl *D. reticulatus* als auch *D. marginatus* können das Virus der Frühsommer-Meningo-Encephalitis (FSME) auf den Menschen übertragen. Zudem dienen sie als Vektor mehrerer tier- und humanpathogener *Rickettsia*-Arten, unter anderem auch von *Coxiella burnetti*, dem Erreger des Q-Fiebers und von Rickettsien der Fleck-Fieber-Gruppe. Als Überträger des Erregers der Tularämie, *Francisella tularensis*, erwähnen Liebisch und Rahmann (1976b) die beiden *Dermacentor*-Arten ebenfalls. Eine bedeutende Rolle spielen sie außerdem bei der Übertragung tierpathogener Protozoen, insbesondere *Babesia canis* sowie *Babesia equi*, den Erregern der Hunde- bzw. Pferdepiroplasmose (Liebisch und Rahman 1976 b, Hauschild und Schein, 1996; Földvari und Farkas, 2005; Rar et al., 2005; Duh et al., 2006).

Dermacentor reticulatus

Verbreitung

D. reticulatus handelt es sich um eine Spezies, die traditionell in Osteuropa beheimatet ist (Liebisch und Rahman 1976b). Sie wurde Funden aus folgenden Ländern berichtet: Frankreich, Polen, Russland (Enigk 1947 a, b, Enigk und Grittner 1954, Gray et al. 2009), England (Evans 1951; Thompson 1967, Gray et al. 2009), frühere Tschechoslowakei (Macicka, Nosek und Rosicky 1956), Rumänien (Metianu 1951), Bulgarien (Pavlov 1947), Japan (Nakamura und Jajma 1942; Itagaki, Noda und Yamaguchi 1944), Ungarn (Babos 1964), Spanien, Schweiz, Belgien (Hillyard 1996) und Zentralasien (Gray et al. 2009).

D. reticulatus ist mittlerweile auch in Deutschland weit verbreitet. Zu den bislang in der Literatur erwähnten Fundorten gehören das Maintal nahe Würzburg, Gebiete nördlich von Bamberg (Schulze 1925), das Elbtal in Sachsen (Eichler 1959, Bauch und Danner 1988, Cornely und Schulz 1992), das deutsche Rheinufer bei Basel (Immler 1970, 1973), das Oberrheintal (Walter et al. 1986), der Schönbuch bei Tübingen (Liebisch und Rahman 1976a, b), Regensburg (Zahler et al. 2000a) und München (Dennig et al. 1980, Zahler et al. 2000b). 2006 berichteten Dautel et al. von Zeckenpopulationen in Berlin, Brandenburg, Sachsen-Anhalt, Hessen und Bayern. Jüngst wurde eine dichte Population von *D. reticulatus* im Hardtwald bei Karlsruhe durch Mitarbeiter des Instituts für Parasitologie und Ökologie der Universität Karlsruhe entdeckt. Dieses Gebiet ist in der Literatur bislang nicht als Fundort von *D. reticulatus* erwähnt, was ebenfalls auf eine zunehmende Ausbreitung dieser Zecke in Deutschland schließen lässt.

Ökologie

Nach Nosek (1972), Liebisch und Rahman (1976a) und Szymanski (1986) kommt *D. reticulatus* hauptsächlich in Sumpfniederungen, Auenwäldern und Mischwäldern entlang von Flussläufen vor, in denen nach der Schneeschmelze Überschwemmungen auftreten. Dabei würden Waldlichtungen und Schonungen, von Gebüsch umstandene Weiden und die Vegetation entlang von Waldpfaden, Seeufern und Drainagegräben bevorzugt. Bauch und Danner (1988) stellten jedoch fest, dass *D. reticulatus* auch in besonders trockenen und sandigen Gebieten vorkommt. Ein Fund von Bauch stammte sogar aus einer Kieferschonung, ein Habitat mit Trockencharakter. Die Zecken treten auch im hochkultivierten Gebieten auf. Die Frage, welche Habitatsmerkmale für die Verbreitung dieser Art limitierend sind, bleibt vorerst offen (Bauch und Danner 1988).

D. reticulatus bevorzugen mehr oder weniger intensive Sonneneinstrahlung und hohe Temperaturen im Sommer. Die Adulten sind jedoch winterhart und überleben auch strenge Fröste (Gray et al. 2009). In mitteleuropäischen *D. reticulatus*-Biotopen wurden folgende klimatische Verhältnisse ermittelt: mittlere Lufttemperatur pro Jahr 9°C, mittlere Temperatur im Januar 0 bis -3°C, mittlere Temperatur im Juli 20°C. Die mittlere Schneehöhe im Winter liegt bei 20 cm, die mittlere Jahresniederschlagsmenge beträgt 650 mm (Bauch und Danner 1988). Die Zecke benötigt für ihre Entwicklung feucht-warme Sommer (Enigk 1958).

Die Adulti sind aktiv von Ende August bis April oder Mai, unterbrochen nur durch Perioden sehr niedriger Temperaturen oder geschlossener Schneedecke. Die Oviposition findet im Frühjahr statt. Larven und Nymphen haben ihre Hauptaktivität im Juli und August (Dautel et al. 2006). Als Wartepflanze wurde von Liebisch und Rahmann (1976b) *Calamagrostis epigeios* (Landreitgras) angegeben. Sie nennen *Fagus sylvatica* (Rotbuche), *Carpinus betulus* (Hainbuche), *Alnus glutinosa* (Schwarzerle) und *Acer platanoides* (Spitzahorn) als Charakterpflanzen in *D. reticulatus*-Habitaten.

D. reticulatus kommt hauptsächlich auf Rotwild (Rehen und Hirschen) vor (Liebisch und Rahmann, 1976a). Zu den Wirtstierarten von *D. reticulatus* in Deutschland zählen jedoch auch Hunde, Pferde sowie kleine Nager (Liebisch und Rahman 1976a; Dautel et al. 2006). Im erwähnten Hardtwald bei Karlsruhe, wo die Zecke in großer Dichte vorkommt (Petney et al. unveröffentlicht) gibt es keine Hirsche. Diese Wirtsspezies scheint also nicht benötigt zu werden.

Rhipicephalus sanguineus

Die natürliche Verbreitungsgebiet der Braune Hundezecke *R. sanguineus* ist in Afrika und im Mittelmeerraum. In Afrika parasitiert sie hauptsächlich auf wilden Karnivoren, sowie Haushunden, durch welche sie über die ganze Welt verbreitet wurde. Heute ist sie die Zecke mit dem weltweit größten Verbreitungsgebiet. In tropischen und gemäßigten Zonen kann sie unter den natürlichen Umweltbedingungen sylvatisch überleben, wenn karnivore Wirte vorhanden sind. In kälteren Gebieten überlebt *R. sanguineus* nur in menschlichen Behausungen, Hundehütten oder Zwingern (Walker et al. 2000)

Vermerk

R. sanguineus sensu stricto gehört zur *R. sanguineus* Artengruppe, deren genaue Taxonomie früher uneinheitlich gehandelt wurde (Pegram et al. 1987a, b). Deshalb sollte Literatur, die vor der neuen Klassifizierung der Arten (Morel 1969, Pegram et al. 1987a, b) publiziert wurde mit Vorsicht behandelt werden.

In Deutschland sind Hunde die Hauptwirte für *R. sanguineus* sensu stricto. Dennoch sollte man bei der Bestimmung von *Rhipicephalus* Zecken vorsichtig sein, da auch andere Arten dieser Gattung, z.B. wie *R. turanicus* aus dem Mittelmeerraum, eingeschleppt werden

könnten. Das umfangreichste taxonomische Werk zu dieser Zeckengattung ist wohl das von Walker et al. (1999).

Verbreitung

R. sanguineus ist mittlerweile weltweit zwischen dem 50. nördlichen und 30. südlichen Breitengrad verbreitet ist (Lesson 1951). Wo Hunde in kälteren Gebieten nicht im Haus gehalten werden, kann sie ihren Entwicklungszyklus nicht vollenden (Gothe und Hamel 1973a, Walker et al. 1999). Dies ist der Fall in Mittel- und Nordeuropa, wo *R. sanguineus* häufig von Hunden aus wärmeren Regionen eingeschleppt wird (Zumpt 1944, Haarlov 1969, Gothe 1968, Gothe und Hammel 1973a, b, Liebisch und Gillani 1979). Auch in Deutschland tritt die Zecke auf. Gothe und Hamel (1973b) nehmen an, dass vor allem Hessen und Baden-Württemberg (Heidelberg) betroffen sind. Infektionen wurden auch in Berlin (Gothe und Hamel 1973b, Hoffmann 1980, 1981), Hamburg (Zumpt 1944), Bayern und Niedersachsen nachgewiesen (Centurier et al. 1979).

Ökologie

In Deutschland kommt die Zecke im Haus und in Hundezwingern vor. Infestationen können über das ganze Jahr und auch über mehrere Jahre hinweg an eine Stelle auftreten (Gothe und Hamel 1973a). Im Freien kann der Entwicklungszyklus nur in tropischen und subtropischen Ländern vollendet werden (Walker et al. 1999). Die Beschränkung von *R. sanguineus* in Deutschland auf menschliche Behausungen hängt mit der mangelnden Toleranz gegenüber niedrigen Wintertemperaturen zusammen (Gothe und Hamel 1973a). Zunehmend milde Winter mit hoher Luftfeuchtigkeit werden eine höhere Überlebensfähigkeit der Zecke im Freien nach sich ziehen.

R. sanguineus kommt neben Haushunden gelegentlich auch auf anderen Wirten Karnivoren, aber auch auf Hasen, Rindern und Pferden vor (Walker et al. 1999). Über Menschen als Wirte wird selten berichtet (Walker et al. 1999).

Human- und Veterinärmedizinische Bedeutung

R. sanguineus ist Vektor für zahlreiche Tier- und Humanpathogene. Dadurch, dass sich in Deutschland die Verbreitung auf Zwinger und Häuser beschränkt (Gothe and Hammel 1973), gibt es allerdings nur begrenzte Möglichkeiten für eine Übertragung. Jedoch besteht immer das Risiko, dass Menschen in Kontakt mit einem Hund kommen, der eine infizierte Zecke aus

wärmeren Ländern eingeschleppt hat. Gelegentlich kommt es auch zur Parasitizierung des Menschen.

Die wichtigsten für Mitteleuropa relevanten von *R. sanguineus* übertragenen Pathogene, sind der weltweit verbreitete Erreger der Hundemalaria, *Babesia canis*, sowie *Ehrlichia canis*, der Erreger der monozytären Ehrlichiose. *R. sanguineus* ist außerdem der wichtigste Vektor für *Rickettsia conori* ssp. (Peter et al. 1984, Beati et al. 1996; Rovey et al 2008), welche schwerwiegende Krankheiten beim Menschen auslösen kann. Es gibt Berichte über die Einschleppung und Übertragung auf den Menschen in der Schweiz (Peter et al. 1984). *Rickettsia massiliae*, ein anderes potentiell Humanpathogen, tritt in Südfrankreich auf (Bernasconi et al. 2002) und konnte wie auch *C. burnetti* (Erreger des Q-Fiebers) in der Braunen Hundezecke nachgewiesen werden (Spyridaki et al. 2002). Rovey et al. (2008) meinen, dass sich das Verhalten von *R. sanguineus* in letzter Zeit dahingehend verändert hat, dass sie zunehmend häufiger Menschen als Wirte akzeptiert.

Ähnlich wie die Dermacentor-Arten dürfte auch *R. sanguineus* von der allgemeinen Klimaerwärmung profitieren und somit zukünftig in Baden-Württemberg eine wichtigere Rolle als Vektor medizinisch bedeutsamer Erreger spielen.

Literatur

- Babos S (1964) Die Zeckenfauna Mitteleuropas. Akadémiai Kiadó, Budapest
- Bauch R, Danner G (1988) Funde von *Dermacentor reticulatus* (Ixodida, Ixodidae) in den DDR-Bezirken Leipzig und Halle. Angew Parasitol 29: 250-254
- Beati L, Roux V, Ortuna A, castella J, Porta FS, Raoult D (1996) Phenotypic and genotypic characterization of spotted fever group Rickettsiae isolated from Catalan *Rhipicephalus sanguineus* ticks. Clin Microbiol 34: 2688-2694
- Bernasconi MV, Casati S, Péter O, Piffaretti JC (2002) *Rhipicephalus* ticks infected with Rickettsia and *Coxiella* in southern Switzerland (Canton Ticino). Infect Genet Evol 2: 111-120
- Boch HJ, Supperer R (1983) Veterinärmedizinische Parasitologie. Verlag Parey Berlin
- Centurier C, Gothe R, Hoffmann G, Liebisch A, Schein E (1979) Die braune Hundezecke *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille, 1806) in Deutschland, ein Problem in der Kleintierpraxis. Berl Muench Tierärztl Wschr 92: 472-477

- Cornely M, Schultz U. (1992) Zur Zeckenfauna Ostdeutschlands. *Angew Parasitol* 33: 173-183
- Dautel H, Dippel C, Oehme R, Hartelt K, Schetler E (2006) Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* sp. RpA4. *J Med Microbiol* 296: 149-156
- Dennig HK, Centurier C, Göbel E, Weiland G (1980) Ein Beitrag zur Babesiose des Hundes und ihrer Bedeutung in der Bundesrepublik Deutschland und Berlin-West. *Berl Münch Tierärztl Wschr* 93: 373-379
- Duh D, Slovak M, Saksida A, Strasek K, Petrovec M, Avsic-Zupanc T (2006) Molecular detection of *Babesia canis* in *Dermacentor reticulatus* ticks collected in Slovakia. *Biolog Bratisl* 61: 231-233
- Eichler W (1959) Die Zeckengattungen *Dermacentor* und *Hyalomma* auf dem Gebiet der Deutschen Demokratischen Republik. *Dtsch Gesundheitswes* 14: 1172
- Enigk K (1947a) Zur Kenntnis der Zeckenfauna von Süd- und Osteuropa. *Mh Vet-Med* 2: 75-81
- Enigk K (1947b) Zur Frage der Einschleppung der Pferdepiroplasmen nach Deutschland. *Dtsch Tierärztl Wschr* 54: 1-6
- Enigk K (1958) Zum Vorkommen der Zecke *Dermacentor pictus* (Herm. 1804) in Deutschland. *Z Parasitenkd* 18: 419-422
- Enigk K, Grittner I (1954) Zur Zucht und Biologie der Zecken. *Z Parasitenkd* 16: 56-83
- Evans GO (1951) The distribution and economic importance of *Ixodes ricinus* (L.) in Wales and the Welsh border counties with special references to North-West Cardiganshire. *Bull Ent Res* 41: 469-485
- Földvari G, Farkas R (2005) Ixodid tick species attaching to dogs in Hungary. *Vet Parasitol* 129: 125-131
- Gothé R, Kraiss A, Kraft W (1987) Eine importierte Krankheit: *Babesia canis* und *Babesia gibsoni*-Infektion des Hundes. *Kleintierpraxis* 32: 93-104
- Gothé R, Schmid I (1995) Epidemiologische Fallanalyse Babesiose-erkrankter Hunde in Deutschland. *Kleintierpraxis* 40: 167-179
- Gothé R, Wegerdt S, Walden R, Walden A (1989) Zur Epidemiologie von *Babesia canis*- und *Babesia gibsoni*-Infektionen bei Hunden in Deutschland. *Kleintierpraxis* 34: 309-320

- Gray JS, Dautel H, Estrada-Pena A, Kahl O, Lindgren E (2009) Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. *Interdis Perspect on Infect Dis*, Vol. 2009, Article ID 593232
- Haarlov N (1969) Another case of introduction into Denmark from Africa of the kennel tick (*Rhipicephalus sanguineus* (Latr.1806)). *Nord Ver med* 21: 445-448
- Hausschild S, Schein E (1996) Zur Artspezifität von *Babesia canis*. *Berl. Münch. Tierärztl. Wschr.* 109, 216-219
- Hillyard PD (1996) Ticks of North-West Europe. *Synopses of the British Fauna (New Series)*; Edited by R. S. K. BARNES and J. H. CROTHERS No. 52
- Hoffmann G (1980) Bekämpfung der braunen Hundezecke (*Rhipicephalus sanguineus* L.) in Wohnungen und Ställen. *Bundesgesundheitsblatt* 23: 64-74
- Hoffmann G (1981) Die braune Hundezecke (*Rhipicephalus sanguineus* L.) in Berlin (West) – epizootiologische Untersuchungen unter Einschaltung von Massenmedien. *Bundesgesundheitsblatt* 24: 41-50
- Hoogstraal H (1956) African Ixodoidea. I. Ticks of the Sudan. Research report NM 005.050.29.07, Washington, D.C. Department of the Navy, Bureau of Medicine and Surgery
- Immler RM (1973) Untersuchungen zur Biologie und Ökologie der Zecke *Dermacentor reticulatus* (FABRICUS, 1794) (Ixodidae) in einem endemischen Vorkommensgebiet. *Mitt Schweiz Entomol Ges* 46: 1-70
- Immler RM, Aeschlimann A, Büttiker W, Diehl PA, Eichenberger G, Weiss N. (1970) Über das Vorkommen von *Dermacentor*-Zecken (Ixodoidea) in der Schweiz. *Mitt Schweiz Entomol. Ges* 43: 99-110
- Itagaki S, Noda R, Yamaguchi T (1944) Studies on the ticks of the domestic animals in the far east. Japan Society for the Promotion of Science, Tokyo
- Leeson HS (1951) The recorded distribution of the tick *Rhipicephalus sanguineus* (Latreille). *Bull Entomol Res* 42: 123-124
- Liebisch A, Gillani S (1979) Experimentelle Übertragung der Hundebabesiose (*Babesia canis*) durch einheimische deutsche Zeckenarten: 1. Die braune Hundezecke (*Rhipicephalus sanguineus*). *Dtsch Tierärztl Wschr* 86: 149-152
- Liebisch A, Rahman MS (1976a) Zum Vorkommen und zur Ökologie einiger human-und veterinärmedizinisch wichtiger Zeckenarten (Ixodidae) in Deutschland. *Z Angew Entomol* 82: 29-37

- Liebisch A, Rahman MS (1976b) Zum Vorkommen und zur vektoriellen Bedeutung der Zecken *Dermacentor marginatus* (Sulzer, 1776) und *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) in Deutschland. Tropenmed Parasitol 27: 393-404
- Liebisch A, Brandes R, Hoppenstedt K (1985) Zum Befall von Hunden und Katzen mit Zecken und Flöhen in Deutschland. Prakt Tierarzt 10: 817-824
- Macicka O, Nosek J, Rosicky B (1956) Bemerkungen zur Bionomie, Entwicklung und wirtschaftlichen Bedeutung der Auzecke (*Dermacentor pictus* Herm.) in Mitteleuropa. Biol Prace SAV 12: 1-49
- Metianu T (1951) Contribution à l'étude des ixodidés de Roumanie. Ann Parasit 26: 446-463
- Morel PC (1969) Contribution a la connaissance de la distribution des tiques (Acariens, Ixodidae et Amblyommidae) en Afrique Ethiopienne Continentale. Doctor of Science Thesis, Univeristy of Paris, Paris
- Nakamura T, Yajima A (1942) On the larval stages of four species of ticks of the family Ixodidae. Rep Gov exp Stn Anim Hyg (Tokyo) 19: 34-39 (NAMRU-3 translation 308)
- Nosek J (1972) The ecology and public health importance of *Dermacentor marginatus* and *Dermacentor reticulatus* ticks in Central Europe. Folia Parasitol 19: 93-102
- Pavlov P (1947) Les tiques en Bulgarie et leurs hôtes vecteurs. Bull Soc Path Exot 40: 95-98
- Pegram RG, Clifford CM, Walker JB, Keirans JE (1987a) Clarification of the *Rhipicephalus sanguineus* group (Acari, Ixodoidea, Ixodidae). I. *R. sulcatus* Neumann, 1908 and *R. turanicus* Pomerantzev, 1936. Syst Parasitol 10:3-26
- Pegram RG, Keirans JE, Clifford CM, Walker JB (1987b) Clarification of the *Rhipicephalus sanguineus* group (Acari, Ixodoidea, Ixodidae). II. *R. sanguineus* (latreille, 1806) and related species. Syst Parasitol 10:27-44
- Péter O, Burgdorfer W, Aeschlimann A, Chatelangat P (1984) *Rickettsia conori* isolated from *Rhipicephalus sanguineus* introduced into Switzerland on a pet dog. Z Parasitenkd 70: 265-270
- Pomerancev BJ (1950) Iksodovye klěšči (Ixodidae), In: Fauna SSSR, Paukoobraznye IV, 2, Moskau-Leningrad
- Rar VA, Maksimova TG, Zakharenko LP, Bolykhina SA, Dobrotvorsky AK, Morozova OV (2005) *Babesia* DNA Detection in Canine Blood an *Dermacentor reticulatus* Ticks in Southwestern Siberia, Russia. Vect.-Borna and Zoo. Dis. 5, 285-287
- Rovero C, Brouqui P, Raoult D (2008) Questions on Mediterranean spotted fever a century after its discovery. Emerg Inf Dis 14: 1360-1367

- Schulze P (1925) Endemisches Vorkommen einer mediterranen Zecke (*Dermacentor reticulatus*) in Deutschland. Z Morph Ökol Tiere 3: 704-705
- Spyridaki I, Psaroulaki A, Loukaides F, Antoniou M, Hadjichristodolou C, Tselentis Y (2002) Isolation of *Coxiella burnetii* by a centrifugation shell-vial assay from ticks collected in Cyprus: detection by nested polymerase chain reaction (PCR) and by PCR-restriction fragment length polymorphism analyses. Am J Trop Med Hyg 66: 86-90
- Szymanski S (1986) Distribution of the tick *Dermacentor reticulatus* (FABRICIUS, 1794) (*Ixodidae*) in Poland. Acta Parasitol Pol 31: 134-154
- Thompson GB (1967) The parasites of British birds and mammals. XLIII. The records of *Dermacentor reticulatus* (FABR. 1794). Ent Mth Mag 103: 111-114
- Walker JB, Keirans JE, Horak IG (1999) The genus *Rhipicephalus* (Acari, Ixodidae). A guide to the brown ticks of the world. Cambridge, Cambridge University Press
- Walter G, Kock D, Liebisch A (1986) Beitrag zur Zecken Fauna der Bundesrepublik Deutschland. Senckenbergiana Biol 67: 199-206
- Zahler, M, Loster F, Merkle C, Rinder H, Gothe R (2000a) Infektionsgefahr für Hunde in Regensburg – ein neuer Naturherd von *Babesia canis* und *Dermacentor reticulatus* in Deutschland. Tierärztl Praxis Kleintiere 28: 395-398
- Zahler M, Steffenz T, Lutz S, Hähnel W, Rinder H, Gothe R (2000b) *Babesia canis* und *Dermacentor reticulatus* in München, ein neuer Naturherd in Deutschland. Tierärztl. Praxis 28: 116-120
- Zumpt F (1944) Die Hundezecke in Deutschland. Disinf Schädli 26: 7-9