



---

**Ausarbeitung**

---

**Lyme-Borreliose und Wiederkäufer**

**Lyme-Borreliose und Wiederkäuer**

Aktenzeichen: WD 5 - 3000 - 026/17  
Abschluss der Arbeit: 31. Mai 2017  
Fachbereich: WD 5: Wirtschaft und Verkehr; Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzuzeigen und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

---

## Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Vorbemerkung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
2.1.	Borrelia-burgdorferi-sensu-lato-Komplex	4
2.2.	Aktive Entwicklungsstadien der Zecke	6
2.3.	Reservoirtiere und das Nahrungsverhalten der Zecken	7
2.4.	Habitate	9
<b>3.</b>	<b>Wie hoch ist in Deutschland der Anteil der Zecken, die mit Borrelien infiziert sind?</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Gibt es eine signifikante Verbindung zwischen dem Rückgang der Weidehaltung von Wiederkäuern und einer eventuellen Zunahme der Borrelienbelastung bei Zecken?</b>	<b>12</b>
<b>5.</b>	<b>Gibt es wissenschaftliche Erkenntnisse wie das Immunsystem von Wiederkäuern Borrelien bekämpft? Falls ja können sich daraus Ansätze für die Behandlung von Borreliose ergeben, gibt es Forschungsprojekte in dieser Richtung?</b>	<b>23</b>
<b>6.</b>	<b>Quellen</b>	<b>26</b>
<b>7.</b>	<b>ANLAGEN</b>	<b>35</b>

## 1. Vorbemerkung

Im Bereich der Epidemiologie finden Untersuchungen zu dem nachfolgenden Themenkomplex bislang nur rudimentär statt. Eine Einschätzung unterschiedlichster Publikationen insbesondere aus dem Bereich der Epizootiologie soll nachfolgend nicht vorgenommen werden, es wird lediglich versucht, aus der Fülle der Publikationen einzelne Ergebnisse zu dokumentieren, und wenn möglich in einen Zusammenhang zu setzen.

## 2. Einleitung

Schlagzeilen, wie „*Weidetiere senken das Risiko für Borreliose-Infektionen deutlich*“<sup>1</sup>, „*Mit Reh und Hirsch gegen Borreliose*“<sup>2</sup> oder „*Bambi schützt vor Borreliose*“<sup>3</sup> sind der aktuelle Anlass für die nachfolgenden Ausführungen.

Zecken (*Ixodida*) können grundsätzlich **eine Vielzahl humanpathogener Erreger** übertragen, wie etwa Viren, die die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)<sup>4</sup> oder Bakterien, die die Lyme-Borreliose (LB) verursachen können. LB kommt bundesweit vor, eine Impfung ist derzeit nicht möglich.<sup>5</sup> LB zählt nach Ansicht von Experten zu den „*emerging bacterial zoonoses*“<sup>6</sup>.

### 2.1. Borrelia-burgdorferi-sensu-lato-Komplex

LB ist eine durch einen Vektor - in Europa in der Regel durch den Gemeinen Holzbock - (*Ixodes ricinus*)<sup>7</sup> - übertragene Infektionskrankheit, die durch bestimmte schraubenförmige Bakterien

---

1 [http://www.oekologische-bildungsstaette.de/muka/medien/2015.12.16\\_anl.pdf](http://www.oekologische-bildungsstaette.de/muka/medien/2015.12.16_anl.pdf)

2 <https://www.jagdverband.de/content/mit-reh-und-hirsch-gegen-borreliose>

3 <https://www.welt.de/print/wams/wissen/article128377718/Bambi-schuetzt-vor-Borreliose.html>

4 FSME kommt bislang nur in bestimmten Regionen Deutschlands vor. Es ist ein Impfstoff vorhanden. Ein kurzer Stich einer mit FSME-infizierten Zecke reicht allerdings zur Übertragung aus. Für die Übertragung von Borrelien ist ein längerer Saugakt einer infizierten Zecke erforderlich.

5 Ein bereits entwickelter Impfstoff erfüllte nicht die Erwartungen und wurde vom Markt genommen. LB ist in den ganz überwiegenden Fällen der Frühphase der Erkrankung durch Antibiotika erfolgreich therapierbar. (Vgl. Fingerle, Volker; Sing, Andreas; Hofmann, Heidelore (2015). Lyme-Borreliose: Fallstricke bei Diagnose und Therapie. Dtsch Arztebl 2015; 112(23). <https://www.aerzteblatt.de/archiv/170775/Lyme-Borreliose-Fallstricke-bei-Diagnose-und-Therapie>); Es wird darauf hingewiesen, dass eine Therapie der LB immer möglich sei. (Vgl. Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München; S. 30.).

6 Vgl. <https://www.fli.de/de/institute/institut-fuer-bakterielle-infektionen-und-zoonosen-ibiz/referenzlabore/nrl-fuer-durch-zecken-uebertragene-krankheiten/>

7 Weltweit sind nur vier Zeckenarten bedeutende Vektoren von LB: *Ixodes ricinus* in Europa, *I. pacificus* im westlichen Nordamerika, *I. scapularis* im östlichen Nordamerika und *I. persulcatus* in Asien. (Quelle: Kilpatrick et al. (2017).

(Spirochäten) der Gattung *Borrelia* verursacht wird. Da der Erreger der LB außerordentlich heterogen ist, sprechen Experten vom **Borrelia-burgdorferi-sensu-lato-Komplex**, der nach aktuellem Forschungsstand aus etwa 20 Genospecies<sup>8</sup> besteht, von denen **in Europa** derzeit die fünf folgenden Erreger **humanpathogen** und als Verursacher der LB bekannt sind:

- „*Borellia burgdorferi sensu stricto*,
- *Borellia afzelii*,
- *Borellia garinii*,
- *Borellia bavariensis*<sup>[9]</sup>,
- *Borellia spielmanii*.“<sup>10</sup>

Laut Dr. Volker Fingerle vom Nationalen Referenzzentrum für Borrelien hat „auch die *Borrelienart* [...] einen Einfluss auf das Erkrankungsrisiko.“<sup>11</sup> Die fünf humanpathogenen Borrelienarten rufen nach Angaben des Deutschen Ärzteblattes „leicht unterschiedliche Immunreaktionen und Krankheitsbilder hervor, allerdings ohne klare Abgrenzung. So geht eine Infektion mit *Borellia burgdorferi* s. s. häufig mit Arthritis einher, während bei *B. garinii* neurologische Symptome und bei *B. afzelii* Hautveränderungen typisch sind.“<sup>12</sup> Zudem können einzelne Zecken auch mit mehr als einer Genospecies des *Borrelia-burgdorferi-sensu-lato-Komplexes* infiziert sein.<sup>13</sup> Die nachfolgende Tabelle, die aus dem Jahr 2009 stammt, zeigt die Verteilung der einzelnen Unterarten des *Borrelia-burgdorferi-sensu-lato-Komplexes* in Europa, acht Prozent der Borrelien-Subspecies waren zu diesem Zeitpunkt noch nicht klassifizierbar:

---

8 Vgl. Recurrent evolution of host and vector association in bacteria of the *Borrelia burgdorferi sensu lato* species complex. <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-3016-4>

Weltweit sind es vier Zeckenarten, die LB übertragen. Vgl. Kilpatrick et al. (2017).

9 Früher als *Borellia garinii* *OspA* serotype 4 bezeichnet. Vgl. Kraiczy, Peter (2016).

10 <https://www.pschyrembel.de/Lyme-Borreliose%20/KODEB/doc/>; siehe auch Zintl, Annetta et al. (2017). Ticks and Tick-borne diseases in Ireland. *Irish Veterinary Journal* (2017).

Die erst kürzlich entdeckte ebenfalls humanpathogene Species ***Borellia mayonii*** scheint noch auf den oberen Mittleren Westen der **USA** begrenzt zu sein. (Siehe: Centers for Disease Control and Prevention - CDC (2016). New Lyme-disease-causing bacteria species discovered. *Borellia mayonii* closely related to *B. burgdorferi*. <https://www.cdc.gov/media/releases/2016/p0208-lyme-disease.html>)

11 [https://www.lgl.bayern.de/gesundheitschutz/infektionsschutz/infektionskrankheiten\\_a\\_z/borreliose/lyme\\_meldepflicht.htm](https://www.lgl.bayern.de/gesundheitschutz/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/borreliose/lyme_meldepflicht.htm)

12 Lyme-Borreliose: Fallstricke bei Diagnose und Therapie. *Dtsch Arztebl* 2015; 112(23): [15]; DOI: 10.3238/PersInfek.2015.06.05.03. Supplement: Perspektiven der Infektiologie. <https://www.aerzteblatt.de/call-back/image.asp?id=68562>

13 “Individual ticks can be infected with more than one genospecies of *B. burgdorferi sensu lato* (...). Information on the patterns of such mixed infections may reveal important biological and ecological principles of *B. burgdorferi sensu lato* and also have clinical relevance, since such mixed infections have also been detected in patients.” (Rauter, Carolin; Hartung, Thomas (2005). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1287732/>)

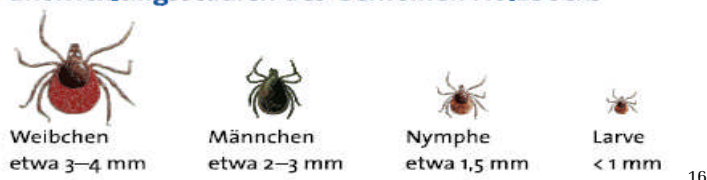
Die Verteilung der einzelnen Borrelien-Subspecies	
Borrelia burgdorferi sensu stricto	9%
Borrelia afzelii	63%
Borrelia garinii	10%
Borrelia spielmanii	10%
Nicht klassifizierbar	8%

Quelle: Nielsen/Jørgensen (2009).<sup>14</sup>

## 2.2. Aktive Entwicklungsstadien der Zecke

*I. ricinus* entwickelt sich vom Ei in drei weiteren aktiven Entwicklungsstadien, die jeweils mit einer Häutung einhergehen, von der sechsbeinigen Larve zur achtbeinigen Nymphe und dann zur adulten Zecke (Weibchen und Männchen<sup>15</sup>):

### Entwicklungsstadien des Gemeinen Holzbocks



16

Adulte Zeckenweibchen, die nach der letzten Blutmahlzeit vom Wirt abfallen, legen bis zu 2000 Eier.<sup>17</sup>

14 Nielsen, Doris; Jørgensen, Anna (2009). Die Zecke. Erstaunlich und gefährlich. Aus dem Dänischen übersetzt durch Christine Vollstedt. Redaktionelle und inhaltliche Überarbeitung für Deutschland: Dr. Andreas Gerritzen, Facharzt für Mikrobiologie und Labormedizin, Medizinisches Labor Bremen. <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>

15 “Interestingly, male ticks rarely feed and never engorge, but they might be important to maintain the females attached to their hosts during blood-meals.” (Garcia, Gustavo Rocha; Gardinassi, Luiz Gustavo (2016). Lyme Disease: Vectors and Reservoirs. <http://smgebooks.com/lyme-disease/chapters/LD-16-03.pdf>)

16 [https://www.bwstiftung.de/uploads/tx\\_news/Borreliose-Flyer\\_2012\\_Web.pdf](https://www.bwstiftung.de/uploads/tx_news/Borreliose-Flyer_2012_Web.pdf)

17 Vgl. <http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/vectors/ticks/Pages/ixodes-ricinus.aspx#name-morphology>)

### 2.3. Reservoirtiere und das Nahrungsverhalten der Zecken

Träger der humanpathogenen *Borrelia* sind in Europa insbesondere die folgenden von der Zecke bevorzugten Wirtstiere: Nager, Vögel, Reptilien und andere kleine Wirbeltiere, wie z. B. Igel<sup>18</sup>. Sie werden als Reservoirtiere für *Borrelia burgdorferi sensu lato* bezeichnet, da sie mit dem Erreger zwar infiziert sind, aber selbst nicht daran erkranken. Kraicy weist jedoch darauf hin, dass die Bezeichnung „*competent reservoir*“ mit Vorsicht verwendet werden sollte, da ein Wirtstier „*may be competent for a specific genospecies but incompetent for another*“<sup>19</sup>.

Während eines interdisziplinären Workshops am Robert Koch-Institut, an dem im Jahr 2008 insgesamt 23 Wissenschaftler teilnahmen, wurde zum Zusammenhang von Reservoirwirten und Genospecies Folgendes ausgeführt:

*„Die in Mitteleuropa vorkommenden Lyme-Borreliose-Erreger sind an unterschiedliche Wirte angepasst. Während die humanpathogene B. afzelii mit Nagetieren assoziiert ist, dienen der humanpathogenen B. garinii vorwiegend Vögel als Reservoirwirte. Die humanpathogenen B. burgdorferi s.s. hingegen können beide Wirtstiergruppen nutzen. Besonders eng an bestimmte Reservoirwirte gebunden ist B. spielmannii, nämlich an Gartenschläfer und Haselmäuse. Diese enge Erreger-Wirtsbindung führt dazu, dass Zecken in einem Gebiet abhängig von der Zusammensetzung der lokalen Wirtstierfauna mit bestimmten Borrelienarten (Genospezies) infiziert sind, die sich in ihrer Pathogenität unterscheiden.“<sup>20</sup>*

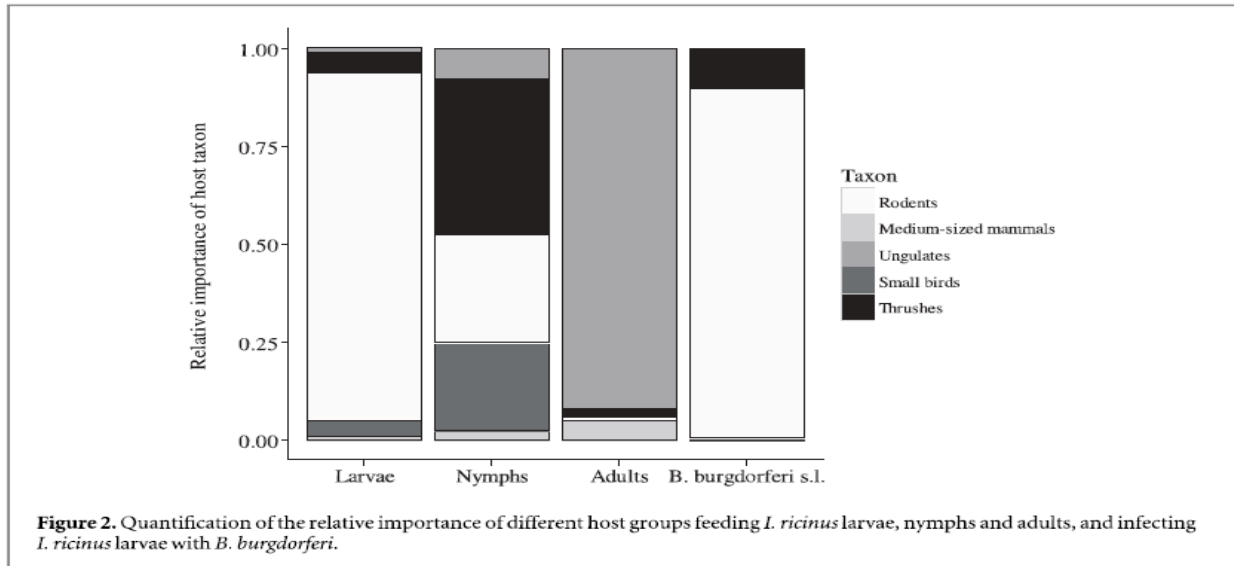
Auch die drei aktiven Entwicklungsstadien der Zecke spielen eine Rolle bei der Wirtssuche, wie Hofmeester et al. (2016) am unterschiedlichen Nahrungsverhalten der Zecke dokumentieren konnten. Für **Larven** sind Nagetiere („*rodents*“) die wichtigste Nahrungsquelle, gefolgt von Drosseln („*thrushes*“) und kleineren Vögeln. **Nymphen** bevorzugen Drosseln, gefolgt von Nagern, kleineren Vögeln und Huftiere („*ungulates*“), **adulte Zecke** befallen mit Vorliebe Huftiere und mittelgroße Säugetiere, siehe nachfolgende Abbildung. Auf Huftiere bzw. Wiederkäuer wird im weiteren Verlauf der Ausarbeitung unter Punkt 4 näher eingegangen.

---

18 <http://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/FSME/Zecken/Zecken.html>; Zur Bedeutung des Igels als Zeckenüberträger für den Siedlungsbereich, siehe: Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsummer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München. Erika VON MUTIUS, Thomas LÖSCHER, Volker FINGERLE, Gerhard DOBLER, Annette POHL-KOPPE, Hans Hubert GERARDS, Andreas KÖNIG, Dirk VAN DER SANT, Josef H. REICHHOLF. Herausgegeben von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Band 29. September 2005. Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften. S. 101ff.

19 Vgl. Kraicy (2016).

20 Poggensee, G.; Fingerle, V.; Hunfeld, K.-P.; Kraiczy, P.; Krause, A.; Matuschka, F.-R.; Richter, D.; Simon, M. 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 Ergebnisse eines interdisziplinären Expertentreffens am Robert Koch-Institut.



Quelle: Hofmeester et al. (2016)<sup>21</sup>

Die nächste Tabelle zeigt von der Zecke während ihrer jeweiligen aktiven Entwicklungsstadien bevorzugte Wirtstiere. Adulte Tiere scheinen kleinere Nager zu meiden, weil diese laut Nielsen/Jørgensen (2009) „nicht genug Blut liefern können. Eine kleine weibliche Zecke saugt bereits ca. 1,5 ml Blut, was z. B. für eine Spitzmaus, die nur ca. 8-10 g wiegt, relativ viel ist.“<sup>22</sup>

Durchschnittliche Zeckenanzahl auf verschiedenen Wirtstieren in einem Wald

Wirte	Larven	Nymphen	Adulte, weiblich	Adulte, männlich
Zwergspitzmaus	31	0	0	0
Spitzmaus	62	1	0	0
Rötelmaus	34	1	0	0
Feldmaus	62	4	0	0
Waldmaus	49	1	0	0
Halsbandmaus	74	1	0	0
Hase	141	59	2	2
Waldhase	722	292	15	17
Rotwild	276	57	16	8
Elch	290	173	33	89

Quelle: Nielsen/Jørgensen (2009).<sup>23</sup>

21 Hofmeester et al. (2016). Few vertebrate species dominate the *Borrelia burgdorferis.l.* life cycle. <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/043001/pdf>, siehe auch <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>

22 <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>

23 <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>



Nach Hofmeester et al. (2016) wird in den Gebieten Europas *B. afzelii* in Nymphen am häufigsten gefunden.<sup>24</sup> 89% der Larven in ihrer Analyse hätten sich von dem Blut von Nagern ernährt, was den hohen Prozentsatz von *B. afzelii*-infizierten Nymphen erklären würde, da *B. afzelii* von kleinen Säugetieren übertragen werde.<sup>25</sup> Zum Vorkommen von Nagern, Drosseln und Hirschartigen und ihrer Bedeutung für die Übertragung der Infektion äußern Hofmeester et al. (2016) Folgendes:

*“Rodents, thrushes and deer, that are the most important host groups feeding I. ricinus and infecting I. ricinus larvae with B. burgdorferi, have increased in distribution and abundance in recent decades due to changes in land use and forest management (...), which could be the main driver behind increased disease incidence with tick-borne diseases in Europe.”*<sup>26</sup>

#### 2.4. Habitate

*I. ricinus* wird in ganz Europa vor allem in Laub- und Mischwäldern beobachtet, aber auch in einer Reihe von Lebensräumen, die seine Wirtstiere und ein feuchtes Mikroklima unterstützen.<sup>27</sup> Sie kommt in Deutschland auch in jedem Garten vor.<sup>28</sup> Nielsen/Jørgensen (2009) beschreiben nachfolgend den Lebensraum der Zecke sehr anschaulich, er müsse der Zecke vor allem *„Blut bieten, viel Feuchtigkeit und Schatten“*, weiter heißt es dort wie folgt:

*„Den größten Teil ihres Lebens verbringt die Zecke am Waldboden zwischen sich zersetzenden Blättern, im Humus. Hier herrscht das feuchte Mikroklima, das die Zecke zum Leben braucht. Wenn der Humus im Sommer trockener wird, kriecht die Zecke tiefer nach unten, wo es wieder feuchter wird. Die Zecke lebt ein recht passives Leben im Humus, da sie von ihrem Blutdepot lebt, das sie sich blutsaugend von einem Wirt geholt hat. (...) Die Zecke bewegt sich nach der Trennung vom Wirt kaum horizontal auf dem Boden oder im Humus. Mehr oder weniger bleibt sie dort, wo sie vom Wirt heruntergefallen ist. Dies zeigte ein Versuch, bei dem 20 männliche und 20 weibliche Zecken an einige Stellen gesetzt wurden, wo sie gute Lebensbedingungen vorfanden. Später grub man in verschiedenen Abständen zu den Aussetzstellen im Humus und untersuchte ihn nach Zecken. Es zeigte sich, dass die Zecken sich maximal 5-6 cm entfernt hatten. In einem weiteren Versuch wurden blutgefüllte weibliche Zecken auf einer sonnigen Wiese mit kurzem Gras ausgesetzt. Sie bewegten sich nur wenige Zentimeter, bevor sie starben. Auch als sie in der Nähe eines schattenspendenden Grasbüschels platziert wurden, bewegten sie sich nur planlos und konnten sich nicht unter die schattigen Halme retten. Einige Zecken brachen ihre Bewegung sogar unmittelbar vor dem schützenden Schatten ab. Diese Versuche zeigen, dass Zecken sich praktisch nur mit Hilfe*

---

24 Vgl. hierzu auch die Abbildung „Verteilung der einzelnen Borrelien-Subspecies.“

25 Hofmeester et al. (2016). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/043001/pdf>

26 Hofmeester et al. (2016). <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/4/043001/pdf>

27 Vgl. <http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/vectors/ticks/Pages/ixodes-ricinus.aspx#name-morphology>

28 [https://www.uni-hohenheim.de/pressemitteilung?tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=30970&cHash=a0f6b295c232e9f7172040c2c1436502](https://www.uni-hohenheim.de/pressemitteilung?tx_ttnews%5Btt_news%5D=30970&cHash=a0f6b295c232e9f7172040c2c1436502)

*ihrer Wirte in der Natur verbreiten. Die große Zahl der Nachkommen sorgt aber stets für das Überleben der Art.*

*(...). Larven sind stärker als Nymphen und adulte Zecken vom Austrocknen bedroht und bewegen sich daher nicht sehr hoch hinauf. Ihnen dienen deshalb auch vermehrt kleine Säugetiere wie Mäuse und Spitzmäuse als Wirt. Nymphen und adulte Zecken steigen höher (ca. 80-90 cm), niemals jedoch über 1,40-1,50 m hinweg. Wenn die Zecke oben auf einem Grashalm sitzt, trocknet sie allmählich aus, sodass sie nach einiger Zeit an die feuchte Erdoberfläche zurückkehren muss. Hier kann sie durch die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit verlorene Flüssigkeit zurückgewinnen. (...). Die Zecke pendelt während ihrer Wirtssuche zwischen Grashalmspitze und Erdboden hin und her; dieses Verhalten wird u. a. durch die Feuchtigkeitsbedingungen an dieser Stelle beeinflusst. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass auch andere Faktoren wie Temperatur und Lichtverhältnisse sich auf dieses Verhalten auswirken. Von welchem Wirtstier die einzelne Zecke schließlich Blut saugt, hängt u. a. von ihrem angeborenen Verhalten während der Wirtssuche und von ihrem Kletterverhalten in der Vegetation ab. (...). Adulte Zecken und Nymphen, die in der Vegetation hoch hinaufklettern, haben natürlich bessere Chancen auf vorüberkommendes Rotwild als Zecken, die nur geringe Höhen erklimmen. Rotwild trägt daher in der Regel einen höheren Prozentsatz an Nymphen und adulten Zecken an sich als kleinere Säugetiere, die sich nur in der unteren Vegetation oder am Erdboden aufhalten. Larven können sich aber natürlich auch am Rotwild festklammern, das wiederkäuend am Boden liegt.“<sup>29</sup>*

### **3. Wie hoch ist in Deutschland der Anteil der Zecken, die mit Borrelien infiziert sind?**

Die Durchseuchung der Zecken mit den Erregern der *Lyme-Borreliose* ist sowohl regional als auch kleinräumig sehr unterschiedlich.<sup>30</sup> Sie kann zwischen 5 bis 60%<sup>31</sup> bzw. zwischen 10 und

---

29 Nielsen, Doris; Jørgensen, Anna (2009). *Die Zecke – faszinierend und gefährlich*. <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>

30 RKI. Antwort auf die Frage „Wie hoch ist das Risiko, nach einem Zeckenstich an Lyme-Borreliose zu erkranken?“ <http://www.rki.de/SharedDocs/FAQ/Borreliose/Borreliose.html#FAQId5485372>

31 Pschyrembel-Online. (abgerufen am 16. März 2017). <https://www.pschyrembel.de/Lyme-Borreliose%20/K0DEB/doc/>

40%<sup>32</sup> liegen. Laut Robert Koch-Institut sind etwa 5–35% der Zecken mit Borrelien befallen, wobei adulte Zecken im Durchschnitt zu 20%, Nymphen zu 10% und Larven nur zu etwa 1%<sup>33</sup> infiziert seien.<sup>34</sup> Die Infektionsrate des Menschen durch eine infizierte Zecke hängt vom Entwicklungsstadium der Zecke und von der Saugdauer auf der Haut ab.<sup>35</sup> In der Literatur gibt es allerdings unterschiedliche Angaben zur Infektionsrate von Zeckenlarven, zum einen heißt es, die Larve könne prinzipiell auch die LB übertragen<sup>36</sup>, zum anderen gehen Richter et al. (2012) davon aus, dass Larven noch nicht mit humanpathogenen Lyme-Borrelien infiziert sind.<sup>37</sup> Kilpatrick et al. (2017), die wie viele andere davon ausgehen, dass die meisten humanpathogenen Borrelioseerreger von Nymphen übertragen werden, äußern zur Infektionshäufigkeit von Larven Folgendes:

*„because infection prevalence in larvae is essentially zero (vertical transmission is low or zero for Borrelia species causing Lyme disease) and adult ticks are relatively large, so they are*

---

32 Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München. Erika VON MUTIUS, Thomas LÖSCHER, Volker FINGERLE, Gerhard DOBLER, Annette POHL-KOPPE, Hans Hubert GERARDS, Andreas KÖNIG, Dirk VAN DER SANT, Josef H. REICHHOLF. Herausgegeben von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Band 29. September 2005. Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften.

33 Vgl. auch [https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten\\_a\\_z/borreliose/lyme\\_meldepflicht.htm](https://www.lgl.bayern.de/gesundheit/infektionsschutz/infektionskrankheiten_a_z/borreliose/lyme_meldepflicht.htm)

34 RKI. [http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber\\_LymeBorreliose.html#doc2398672bodyText3](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_LymeBorreliose.html#doc2398672bodyText3)

Laut RKI ist in Deutschland „nach bisherigen Erkenntnissen nach einem Zeckenstich bei 1,5–6% der Betroffenen mit einer Infektion (einschließlich der klinisch inapparenten Fälle) und bei 0,3–1,4% mit einer manifesten Erkrankung zu rechnen.“ RKI. [http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber\\_LymeBorreliose.html#doc2398672bodyText3](http://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_LymeBorreliose.html#doc2398672bodyText3)

35 Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München. Erika VON MUTIUS, Thomas LÖSCHER, Volker FINGERLE, Gerhard DOBLER, Annette POHL-KOPPE, Hans Hubert GERARDS, Andreas KÖNIG, Dirk VAN DER SANT, Josef H. REICHHOLF. Herausgegeben von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Band 29. September 2005. Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften.

36 Ebenda.

37 Telefonische Auskunft von Dr. Dania Richter vom 30. März 2017; Siehe auch Richter, Dania; Debski, Alina; Hubalek, Zdenek; Matuschka, Franz-Rainer (2012). *Absence of Lyme Disease Spirochetes in Larval Ixodes ricinus Ticks. Vector-Borne and Zoonotic Diseases*. January 2012, 12(1): 21-27. doi:10.1089/vbz.2011.0668.

*more often noticed and removed by humans before they can attach and feed for the the 18-48 h required to transmit the bacterium.”<sup>38</sup>*

Nach Angaben des niedersächsischen Landesamtes für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit (LAVES) liege in Niedersachsen der Anteil positiver Zecken durchschnittlich bei circa neun Prozent. Eine Untersuchung von knapp 700 Zecken aus drei niedersächsischen Forstamts-Revieren im Veterinärinstitut Hannover des LAVES sei allerdings zu dem Ergebnis gekommen, dass Borrelien zumindest in einigen Regionen Südniedersachsens häufiger vorkämen, als in den übrigen Teilen des Landes, dort seien zwischen 15 und 40% der Zecken in den Revieren mit Borrelien infiziert gewesen.<sup>39</sup>

Studien über die Zeckendichte bzw. die Entwicklung der Zeckenpopulation stünden, wie das bayerische Staatsministerium der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat im März 2014 ausführte, praktisch weder für Bayern noch für andere Bundesländer und europäische Staaten zur Verfügung.<sup>40</sup>

#### 4. Gibt es eine signifikante Verbindung zwischen dem Rückgang der Weidehaltung von Wiederkäuern und einer eventuellen Zunahme der Borrelienbelastung bei Zecken?

Kilpatrick et al. (2017) konstatieren, es gebe noch erhebliche Wissenslücken hinsichtlich der wichtigsten Triebfedern der räumlich-zeitlichen Schwankung des Risikos (der Dichte der infizierten Zecken) und der Ökologie der LB. Diese Ungewissheit habe zu **starken Meinungsunterschieden in der Literatur** über viele ökologische Aspekte im Zusammenhang mit LB geführt, *“(…), substantial gaps in our understanding still exist regarding the key drivers of spatio-temporal variation in risk (the density of infected ticks) and Lyme disease ecology. This uncertainty has resulted in strong disagreements in the literature about many aspects of Lyme disease ecology (...).”<sup>41</sup>* Die Autoren weisen zudem darauf hin, dass es nicht nur Meinungsunterschiede, sondern in manchen Bereichen auch Widersprüche („*rebuttals*“) gebe.

---

38 Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70187122>.

39 LAVES (o. D.). <http://www.laves.niedersachsen.de/tiere/tiergesundheit/zoonosen/borrelien--vorsicht-vor-zecken-gilt-fuer-mensch-und-tier-73187.html>

40 Bayerischer Landtag (2014). Schriftliche Anfrage. Antwort des Staatsministeriums der Finanzen, für Landesentwicklung und Heimat vom 17.03.2014. LT-Drs. 17/1037. [https://www.bayern.landtag.de/www/ElanTextAbfrage\\_WP17/Drucksachen/Schriftliche%20Anfragen/17\\_0001037.pdf](https://www.bayern.landtag.de/www/ElanTextAbfrage_WP17/Drucksachen/Schriftliche%20Anfragen/17_0001037.pdf)

Siehe auch Kilpatrick et al. (2017), „*there is only very limited systematic surveillance of tick populations*“.

41 Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*.

Laut Poggensee et al. (2008) werde das Vorkommen der LB durch eine Fülle von Faktoren beeinflusst: durch ökologische und mikro- bzw. makroklimatische Faktoren, die das Habitat der Zecken und auch das ihrer Wirtstiere bestimmen würden.<sup>42</sup>

Nachfolgend findet sich eine Zusammenstellung der bisherigen Erkenntnisse über den Einfluss von Wiederkäuern, wie Rinder, Schafe und Ziegen, auch von Wildwiederkäuern, wie z.B. Rehwild auf die Durchseuchung der Zecken mit LB:

Uilenbergl et al. (1988) forderten bereits in ihrem Aufsatz *Borrelia infections of ruminants in Europe*, die Rolle der Wiederkäuer und der Wildwiederkäuer als Reservoir in der Epidemiologie der menschlichen Erkrankungen, die durch Spirochäten verursacht werden, näher zu untersuchen, („*The importance of the reservoir role of domestic and wild ruminants in the epidemiology of human infections with this spirochaete should be investigated.*“<sup>43</sup>). Auch Telford et al. (1988) vertraten die Auffassung: „*Although deer may be infested by numerous larval I. dammini, such ticks appear not to become infected by Lyme disease spirochetes.*“<sup>44</sup>

DVM PhD Ard Nijhof vom Institut für Parasitologie und Tropenveterinärmedizin der Freien Universität Berlin erläuterte auf Anfrage des Fachbereichs, es sei schon mehrfach beschrieben worden, dass Zecken, die sich auf Rindern oder Wildwiederkäuer ernähren würden, eine geringere *Borrelia*-Infizierungsrate hätten als erwartet. Diese Tiere seien also keine guten Reservoirwirte. Nijhof verwies in diesem Zusammenhang auf Veröffentlichungen, u.a. von Jaenson/Tälleklint (1992), Kjelland et al. (2011) und Richter/Matuschka (2010). Sie werden nachfolgend kurz vorgestellt bzw. deren für diese Ausarbeitung relevanten Ergebnisse werden skizziert:

Jaenson, T. G.; Tälleklint L. (1992) kommen in ihrem Aufsatz *Incompetence of roe deer as reservoirs of the Lyme borreliosis spirochete* zu dem Ergebnis:

“*Although the roe deer serves as a principal blood source for all stages of I. ricinus, it does not appear to serve as a major reservoir of B. burgdorferi.*“<sup>45</sup>

Kjelland et al. (2011) sammelten in Südnorwegen *Ixodes ricinus* von erlegten Elchen und von Rehwild und untersuchten die Zecken auf die Prävalenz von *Borrelia burgdorferi*. Sie stellten

---

42 Poggensee, G.; Fingerle, V.; Hunfeld, K.-P.; Kraiczy, P.; Krause, A.; Matuschka, F.-R.; Richter, D.; Simon, M. 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 Ergebnisse eines interdisziplinären Expertentreffens am Robert Koch-Institut. <http://edoc.rki.de/oa/articles/reHBjkQuhr-GCg/PDF/20FqfrULYpAU.pdf>

43 Uilenbergl, G.; Hinaidy, H. K.; Perié, N. M.; Feenstra, T. (1988). *Borrelia infections of ruminants in Europe* THE VETERINARY QUARTERLY, VOL. 10, No. 1, JANUARY 1988. <http://www.tandfonline.com/doi/pdf/10.1080/01652176.1988.9694148>.

44 Telford, S. R. et al. (1988). *Incompetence of deer as reservoir of the Lyme disease spirochete*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 39, 105-109. Abstract. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3400797>

45 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1404260>

fest, dass die vom Rehwild gesammelten adulten Zecken keine Spirochäten aufwiesen. Auch in Larven von Rehwild und Elch hätten keine Spirochäten nachgewiesen werden können:

“As part of a larger survey, ears from 18 roe deer (*Capreolus capreolus*) and 52 moose (*Alces alces*) shot in the 2 southernmost counties in Norway were collected and examined for *Ixodes ricinus* ticks. Seventy-two adult ticks, 595 nymphs, and 267 larvae from the roe deer, and 182 adult ticks, 433 nymphs, and 70 larvae from the moose were investigated for infection with *Borrelia burgdorferi sensu lato* (s.l.). The results showed the presence of *B. burgdorferi* s.l. DNA in 2.9% of the nymphs collected from roe deer and in 4.4% of the nymphs and 6.0% of the adults collected from moose. The spirochetes were not detected in adult ticks from roe deer, or in larvae feeding on roe deer or moose. In comparison, the mean infection prevalences in questing *I. ricinus* collected from the same geographical area were 0.5% infection in larvae, 24.5% in nymphs, and 26.9% in adults. The most prevalent *B. burgdorferi* genospecies identified in ticks collected from roe deer was *B. afzelii* (76.5%), followed by *B. garinii* (17.6%), and *B. burgdorferi sensu stricto* (5.9%). Only *B. afzelii* (76.7%) and *B. garinii* (23.3%) were detected in ticks collected from moose. The present study indicates a lower prevalence of *B. burgdorferi* infection in *I. ricinus* ticks feeding on roe deer and moose compared to questing ticks. This is the first study to report *B. burgdorferi* s.l. prevalence in ticks removed from cervids in Norway.”<sup>46</sup>

Richter/Matuschka (2010) konstatierten in ihrem Beitrag *Elimination of Lyme Disease Spirochetes from Ticks Feeding on Domestic Ruminants*, für den sie auf Ziegen und Rindern saugende Zecken untersuchten, dass **keine** dieser Zecken **LB Spirochäten** getragen habe, allerdings seien **Borrelia miyamotoi**<sup>[47]</sup> **Spirochäten nicht eliminiert** worden:

“To determine whether and which spirochetes are cleared from *Ixodes ricinus* ticks during feeding on ruminants, ticks were removed from goats and cattle grazing on tick-infested pastures. Although about a quarter of ticks questing on the pasture were infected by spirochetes, no molted ticks that had previously engorged to repletion on ruminants harbored Lyme disease spirochetes. *Borrelia miyamotoi* spirochetes, however, appear not to be eliminated.

---

46 Kjelland et al. (2011). *Prevalence of Borrelia burgdorferi in Ixodes ricinus ticks collected from moose (Alces alces) and roe deer (Capreolus capreolus) in southern Norway*. Abstract. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21771543>

47 *Borrelia miyamotoi* „was discovered in 1994 in *Ixodes persulcatus* ticks in Japan. *B. miyamotoi* species phylogenetically cluster with the relapsing fever group spirochetes, which usually are transmitted by soft-bodied (argasid) ticks or lice. *B. miyamotoi* infects at least six *Ixodes* tick species in North America and Eurasia that transmit Lyme disease group spirochetes and may use small rodents and birds as reservoirs. Human cases of *B. miyamotoi* infection were first reported in 2011 in Russia and subsequently in the United States, Europe and Japan. These reports document the public health importance of *B. miyamotoi*, as human *B. miyamotoi* infection appears to be comparable in frequency to babesiosis or human granulocytic anaplasmosis in some areas and may cause severe disease, including meningoenzephalitis. The most common clinical manifestations of *B. miyamotoi* infection are fever, fatigue, headache, chills, myalgia, arthralgia, and nausea. Symptoms of *B. miyamotoi* infection generally resolve within a week of the start of antibiotic therapy.“ (Quelle: Krause, P. J. et al. (2015). *Borrelia miyamotoi* infection in nature and in humans. *Clin Microbiol Infect.* 2015 Jul;21(7):631-9. doi: 10.1016/j.cmi.2015.02.006. Epub 2015 Feb 18. Abstract: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25700888>)

*Thus, the more subadult ticks are diverted from reservoir-competent hosts to zooprophyllactic ruminants, the smaller the risk of infection by Lyme disease spirochetes is.”<sup>48</sup>*

Bei Garcia et al. (2016) heißt es, abhängig von der Verfügbarkeit des Wirts hätten Zecken Nahrungspräferenzen, wie etwa große Säugetiere, von denen viele über die angeborene Fähigkeit verfügen würden, Borrelien abzutöten. Sie seien demzufolge nicht-kompetente Wirte, mit anderen Worten, Wirte, die die Bakterien nicht direkt an Vektoren weitergeben würden:

*“Depending on the availability of hosts, ticks present preferences which include large mammals. Many of those present the innate ability to kill Borrelia spirochetes and thus, they are considered non-competent hosts, in other words, hosts that do not transmit the bacteria directly to vectors.”<sup>49</sup>*

Hinweise in der Literatur insbesondere zur Weidehaltung und LB-Prävalenz finden sich grundsätzlich bei Matuschka und Richter. Sie sehen deutliche Hinweise, dass das Blut von Weidetieren in der Lage ist, auf Borrelien zu reagieren, und zwar in einer Weise, die sie „zooprophyllaktisch“<sup>50</sup> nennen. Nach Angaben von Richter seien einige Tiere in der Lage Borrelien zu „neutralisieren“, dazu würden alle Tiere mit Pansen gehören.<sup>51</sup>

Mit dem von der Landesstiftung Baden-Württemberg finanzierten dreijährigen Projekt: „*Eingriff in die Epizootiologie der Lyme-Krankheit mit dem Ziel der Prävention*“, das bis März 2008 dauerte, hatten sich Matuschka/Richter folgendes Ziel gesetzt:

*„Wir postulieren, dass das Einbringen von zooprophyllaktischen Wirten in ein Habitat den Anteil der Zecken, die mit Lyme-Spirochäten infiziert sind, senkt. Mit einer Kombination aus experimenteller Freilandarbeit und Analysen im Labor untersuchen wir in mehreren Gebieten Baden-Württembergs die Auswirkung verschiedener Interventions- bzw. Präventionsmaßnahmen auf das Infektionsrisiko und die Abundanz von Zecken.“<sup>52</sup>*

In ihrem Aufsatz „*Modulatory Effect of Cattle on Risk for Lyme Disease*“ aus dem Jahr 2006 beschreiben sie den Zusammenhang zwischen Rinderweidehaltung und der Reduktion des LB-Risikos. Die beiden Autoren verglichen die Prävalenz der Spirochäten-Infektion in den Zecken, die

---

48 Richter, D.; Matuschka F. R. (2010). Elimination of Lyme Disease Spirochetes from Ticks Feeding on Domestic Ruminants <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2976204/>

49 Garcia, Gustavo Rocha; Gardinassi, Luiz Gustavo (2016). Lyme Disease: Vectors and Reservoirs. <http://smge-books.com/lyme-disease/chapters/LD-16-03.pdf>

50 Laut Richter/Matuschka (2011) üben Wiederkäuer eine zooprophyllaktische Wirkung auf *Borrelia burgdorferi* s.l. aus (*“ruminants exert a zooprophyllactic effect on Borrelia burgdorferi s.l.”*) (Quelle: Richter, D.; Matuschka F. R. (2011). *Differential risk for Lyme disease along hiking trail*. Germany. Emerging Infectious Diseases. Vol 17, No.9, September 2011. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3322059/>)

51 Telefonat vom 30. März 2017 mit Verfasser des Sachstandes.

52 [http://www2.hu-berlin.de/forschung/fober/fober09/deutsch\\_ch/PJ/PJ23861.html](http://www2.hu-berlin.de/forschung/fober/fober09/deutsch_ch/PJ/PJ23861.html)

von einer Weide mit extensiver Rinderhaltung („*low-intensity cattle grazing*“) stammten mit denjenigen, die von einer Weide stammten auf der keine Rinder grasten. Die Anwesenheit der Rinder habe die Prävalenz von *Borrelia burgdorferi* s.l. in den Zecken limitiert, aber nicht die Prävalenz von *B. miyamotoi*. Die Wiedereinführung der traditionellen, extensiven Landwirtschaft in Mitteleuropa könne nach Auffassung der Autoren dazu beitragen, das Risiko einer Infektion mit *Borrelia burgdorferi* s.l. zu reduzieren:

*“To determine the effect of cattle on the risk for Lyme disease, we compared the prevalence of spirochete infection in questing vector ticks collected from a pasture with low-intensity cattle grazing with the prevalence in those collected from a site on which no cattle grazed. The presence of cattle limited the prevalence of Borrelia burgdorferi s.l., but not B. miyamotoi, in vector ticks. The reintroduction of traditional, nonintensive agriculture in central Europe may help reduce risk for Lyme disease.”*<sup>53</sup>

In seiner Dissertation *“Tick tactics. Interactions between habitat characteristics, hosts and microorganisms in relation to the biology of the sheep tick Ixodes ricinus”* befasste sich der Niederländer Fedor Gassner im Jahr 2010 auch mit den Ergebnissen von Richter und Matuschka und dem Zusammenhang zwischen Weidehaltung und mit *Borrelia burgdorferi* s.l. infizierten Zecken:

*„Richter and Matuschka (Richter and Matuschka 2006) recently reported that grazing of cattle had a negative impact on Lyme disease risk. In their study in northern France, however, the effect was caused by significantly different Borrelia infection rates in ticks more than by tick densities. Unlike in our study, where tick densities could be compared because of our rigid sampling strategy, Richter and Matuschka do not mention sampling intensity or record tick densities, although they mention that half as many ticks were found in areas where cattle were present compared to areas where cattle were absent. The effect of grazing on Lyme disease risk in their study was therefore likely to be even stronger than in our study. Based on Borrelia infection rates in ticks, however, the results of both studies are different. It is possible that differences in vegetation structure and topography between the study areas may have contributed to this as Richter and Matuschka collected ticks in a pasture, whereas in our study ticks were collected from a woodlot where Borrelia-infectious mice are likely to be more abundant than in a pasture. As mentioned above, in our study area the rodents could readily move between both sites, as shown by the dispersal behaviour of at least one recaptured mouse, and the probability of ticks becoming infected with Borrelia might therefore have been similar in the grazed and ungrazed site. We are not aware of any other study reporting on livestock grazing in woodland areas and risk of Lyme disease but the results of both studies, suggesting that grazing cattle can reduce Lyme disease risk, seem to merit additional studies to understand the reported effects. It is an interesting observation that the oak forest supported a significantly higher tick population than the pine forest. Previously we found an opposite result in two other areas in The Netherlands, with significantly higher tick densities in*

---

53 Matuschka, Franz-Rainer; Richter, Dania (2006). Modulatory Effect of Cattle on Risk for Lyme Disease. Emerging Infectious Diseases. <https://wwwnc.cdc.gov/eid/article/12/12/pdfs/05-1552.pdf>



*pine forest than oak forest (R. Smit, unpublished data). It is likely that this effect is area specific.*<sup>54</sup>

Gassner schlussfolgerte:

„Furthermore, large herbivores can negatively affect tick populations, but not *B. burgdorferi* s.l. infections in ticks. Moreover, the data show that specific interactions between rodents and ticks can result in differences in infection prevalence between sites. Finally, the data show that *B. burgdorferi* s.l. mediates behavioural and developmental changes in *I. ricinus*. A combination of suitable habitat conditions, *Borrelia*-induced increased attractiveness of reservoir hosts and *Borrelia*-induced host-finding efficacy of *I. ricinus* may lead to self-amplifying *Borrelia* transmission hot spots. Such hot spots may account for a disproportional number of Lyme borreliosis cases; therefore prevention efforts through public information and possibly integrated tick management, would ideally be directed at such places.“<sup>55</sup>

Auch der Aufsatz von Ruiz-Fons et al. (2012) *Factors Driving the Abundance of Ixodes ricinus Ticks and the Prevalence of Zoonotic I. ricinus-Borne Pathogens in Natural Foci* beschreibt einen Zusammenhang zwischen Rindern und einer Reduzierung des LB-Risikos:

*“Statistical analyses confirmed the influence of spatial factors, climate, and ungulate abundance on I. ricinus larva abundance, while nymph abundance was related only to climate. Interestingly, cattle abundance rather than deer abundance was the main driver of B. burgdorferi sensu lato and A. phagocytophilum prevalence in I. ricinus nymphs in the study sites, where both domestic and wild ungulates coexist. The increasing abundance of cattle seems to increase the risk of other hosts becoming infected by A. phagocytophilum, while reducing the risk of being infected by B. burgdorferi sensu lato. Controlling ticks in cattle in areas where they coexist with wild ungulates would be more effective for TBP [tick-borne pathogen] control than reducing ungulate abundance.”*<sup>56</sup>

Nachfolgend findet sich eine Zusammenstellung weiterer relevanter Publikationen und Untersuchungen, die zum Teil auch zu völlig entgegengesetzten Schlussfolgerungen kommen:

Gray, J. S. et al. (1999). *Borrelia burgdorferi sensu lato in Ixodes ricinus ticks and rodents in a recreational park in south-western Ireland*. Abstract:

*“Ixodes ricinus ticks infected with Borrelia burgdorferi sensu lato were numerous on the edges of paths and roads in a recreational park in south-western Ireland. The abundance of ticks at different sites was related to the presence of deer, but a negative relationship was*

---

54 Gassner, Fedor (2010). Tick tactics. Interactions between habitat characteristics, hosts and microorganisms in relation to the biology of the sheep tick *Ixodes ricinus*.

55 Gassner, Fedor (2010). Tick tactics. Interactions between habitat characteristics, hosts and microorganisms in relation to the biology of the sheep tick *Ixodes ricinus*.

56 Ruiz-Fons, Francisco; Fernández-de-Mera, Isabel G.; Acevedo, Pelayo; Gortázar, Christian; Fuentea, José de la (2012). Factors Driving the Abundance of *Ixodes ricinus* Ticks and the Prevalence of Zoonotic *I. ricinus*-Borne Pathogens in Natural Foci. <https://www.asm.org/images/Communications/tips/2012/0412ticks.pdf>

*shown between tick abundance and tick infection rates. This is thought to be due to the deposition of large numbers of uninfected ticks by deer, which are apparently not good reservoir hosts of B. burgdorferi s.l. Blood meal analysis only detected deer DNA in uninfected nymphs. Reservoir competent rodents, Apodemus sylvaticus and Clethrionomys glareolus, were abundant at all sites and a high proportion of captured specimens were infested with larval ticks. However, very few rodents were infected with B. burgdorferi s.l. and none of the unfed infected nymphs analysed for the identity of their larval blood meal had fed on rodents. The spirochaetes detected in I. ricinus in the study area may be poorly adapted to rodents or are not transmitted readily because of the absence of nymphal infestation. The majority of spirochaetes in these ticks were apparently acquired from non-rodent hosts, such as birds.”<sup>57</sup>*

Levy, Sharon (2013). *The Lyme Disease Debate: Host Biodiversity and Human Disease Risk*.

*“Today the ecology of Bb [Borrelia burgdorferi] is the subject of both intense study and intense scientific debate. Some researchers think that protecting large tracts of forest habitat—a strategy that increases the diversity of vertebrate hosts for both Bb and its tick vectors—will ultimately reduce the risk of human infection. Others argue that there is no predictable relationship between host biodiversity and human disease risk.”<sup>58</sup>*

*“Blame for the emergence of both black-legged ticks and Lyme disease has typically focused on deer, which have abundantly repopulated the northeastern and midwestern United States over the last few decades. Yet deer turn out to be immune to infection with Bb; even though they’re an important host for ticks, especially in the adult life phase, they don’t transmit Lyme disease.*

*Early research tested the assumption that reducing deer populations would lower the risk of human infection by reducing numbers of infected nymphal ticks searching for a host. The results were mixed. Some studies showed a strong relationship between deer abundance and tick density. Others, however, reported that tick density was tightly linked with numbers of white-footed mice or small mammalian predators, not deer. Experiments in the Italian Alps reported an increased density of questing nymphs in habitat patches where deer had been fenced out.”<sup>59</sup>*

Zintl, Annetta et al. (2017):

*„Many attempts have been made to identify the most important reservoir hosts for Borrelia spirochaetes in the environment. Large mammals such as red, fallow and sika deer, cattle and sheep are certainly important reproductive hosts for ticks, and by feeding large numbers of all*

---

57 <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1006233700194>

58 Levy, Sharon (2013). *The Lyme Disease Debate: Host Biodiversity and Human Disease Risk*. <https://ehp.niehs.nih.gov/121-a120/>

59 Levy, Sharon (2013). *The Lyme Disease Debate: Host Biodiversity and Human Disease Risk*. <https://ehp.niehs.nih.gov/121-a120/>

*life cycle stages, their presence invariably serves to significantly boost tick numbers. However, because they are not competent hosts for the spirochaete, their contribution consists largely of uninfected ticks and, if anything, results in diluting the infection pressure (...). While it has been reported that ticks can directly transmit the spirochaetes to each other while co-feeding on a host that is not susceptible (...), this transmission route is unlikely to be very important in nature.”<sup>60</sup>*

Fingerle äußerte im Oktober 2004 auf die Frage, wie hoch die Infektionsrate bei Nymphen sei, die die meisten Zeckenstiche verursachen würden, und wie sicher dieser Wert sei:

*“Das sind Durchschnittswerte, die von Gebiet zu Gebiet erheblich variieren können. Es gibt auch Gebiete, in denen sich die Infektionsrate anders darstellt. Matuschka hat z.B. eine Arbeit publiziert über ein Gebiet, in dem es sehr viele Hirsche gab (Man geht davon aus, dass die Nymphe häufig an Hirsche geht.) Er hat in diesem Gebiet für die adulten Zecken sogar etwas geringere Infektionsraten als für die Nymphen festgestellt. Matuschka führte diese völlig andere Relation darauf zurück, dass das Serum der Hirsche die Borrelien in der Zecke umbringt. In den von mir untersuchten Gebieten hatten die Nymphenpopulationen nie eine höhere Infektionsrate als die adulten Populationen desselben Gebietes.“<sup>61</sup>*

Eine umfangreiche Literaturstudie von Rauter/Hartung (2005) zur „*Prevalence of Borrelia burgdorferi Sensu Lato Genospecies in Ixodes ricinus Ticks in Europe: a Metaanalysis*“, die internationale Veröffentlichungen von 1984 bis 2003 berücksichtigte, kam zu dem Ergebnis, dass die Infektionsrate bei Adulten signifikant höher liege als bei Nymphen:

*“While the infection rate was significantly higher in adults (18.6%) than in nymphs (10.1%), no effect of detection method, tick gender, or collection period (1986 to 1993 versus 1994 to 2002) was found.“<sup>62</sup>*

---

60 Zintl, Annetta et al. (2017). Ticks and Tick-borne diseases in Ireland. Irish Veterinary Journal (2017). <https://irishvetjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13620-017-0084-y>

61 Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München. Erika VON MUTIUS, Thomas LÖSCHER, Volker FINGERLE, Gerhard DOBLER, Annette POHL-KOPPE, Hans Hubert GERARDS, Andreas KÖNIG, Dirk VAN DER SANT, Josef H. REICHHOLF. Herausgegeben von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Band 29. September 2005. Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften, S. 41.

62 Rauter, Carolin; Hartung, Thomas (2005). Prevalence of Borrelia burgdorferi Sensu Lato Genospecies in Ixodes ricinus Ticks in Europe: a Metaanalysis. Appl Environ Microbiol. 2005 Nov; 71(11): 7203–7216. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1287732/>

Kilpatrick et al. (2017) führen Folgendes aus: “*Habitats that contain very few deer often have much lower tick abundance and Lyme disease risk than those that have moderate or high densities of deer, although exceptions do exist.*”<sup>63</sup>

Tappe et al. (2016) untersuchten “*Borrelia burgdorferi sensu lato infections in hard ticks (Ixodes ricinus) in the city of Hanover (Germany)*“ mit folgendem Ergebnis: 22.7% (somit 476 von 2.100 untersuchten *Ixodes ricinus*) wurden positiv auf *B. burgdorferi* s.l. Infektionen getestet. Adulte zeigten eine Infektionsrate von 33.3% (124 infizierte von 372 adulten I.r.), unterteilt in 29,6% (58 infizierte von insgesamt 196 adulten Männchen) positive Männchen und 37,5% (66 infizierte von 176 adulten Weibchen) positive Weibchen. Die Nymphen- und Larveninfektionsraten betragen 20,3% (344 infizierte von insgesamt 1.697 Nymphen) bzw. 25,8% (8 infizierte von 31 Larven), siehe nachfolgende Tabelle:

Co-infections with *B. burgdorferi* (s.l.) and *Rickettsiales* in Hanoverian ticks in 2010

	No. of collected ticks	No. of <i>B. burgdorferi</i> (s.l.) positive ticks No. (%)	Total co-infections No. (%)	<i>Rickettsia</i> spp. co-infections No. (%)	<i>A. phagocytophilum</i> co-infections No. (%)	Co-infections with <i>Rickettsia</i> spp. and <i>A. phagocytophilum</i> No. (%)
Adults	372	124 (33.3)	43 (11.6)	42 (11.3)	0 (na*)	0 (na*)
Males	196	58 (29.6)	22 (11.2)	22 (11.2)	0 (na*)	0 (na*)
Females	176	66 (37.5)	21 (11.9)	20 (11.4)	0 (na*)	0 (na*)
Nymphs	1697	344 (20.3)	120 (7.1)	111 (6.5)	6 (0.4)	3 (0.2)
Larvae	31	8 (25.8)	0 (na*)	0 (na*)	0 (na*)	0 (na*)
All stages	2,100	476 (22.7)	163 (7.8)	153 (7.3)	6 (0.3)	3 (0.1)

\*na, not applicable

Quelle: Tappe et al. (2016).<sup>64</sup>

Raileanu et al. (2017). *Borrelia Diversity and Co-infection with Other Tick Borne Pathogens in Ticks.*

„Usually, adult *I. Ricinus* are more frequently infected with *Borrelia* spp. than nymphs, and as host-seeking adult ticks require two blood meals during their development, compared to one for nymphs, the likelihood of retrieving the pathogen from infected hosts is increased (...). Our observed adult and nymph infection rates did not follow this pattern, as *I. Ricinus* adults

63 Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70187122>

64 Tappe J, Jordan D, Janecek E, Fingerle V, Strube, C. (2016). Erratum to: Revisited: *Borrelia burgdorferi sensu lato* infections in hard ticks (*Ixodes ricinus*) in the city of Hanover (Germany). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4851778/table/Tab1/>

were only slightly more frequently infected with *Borrelia* spp. than nymphs. This could be attributed to the high abundance of *I. Ricinus* nymphs in study areas, which is known to positively correlate with a high rate of infected nymphs (...). Additionally, adults feed on host species that are not *B. Burgdorferi* s.l.-transmission competent, such as deer, resulting in a similar prevalence in adults compared to nymphs (...). Larval stages are more frequently infected with *Borrelia* genospecies as a result of feeding mostly on rodents, birds, and lizards, and thus acquiring the infection after a blood meal from an infected host, or by co-feeding in the vicinity of an infected nymph (...).“<sup>65</sup>

Lindgren, Elisabet; Jaenson, Thomas G.T. (2006):

„The abundance of reservoir hosts in a particular habitat is the most important factor in the establishment of infected tick populations. Important competent reservoirs of *B. burgdorferi* s.l. in Europe are rodents, such as *Apodemus* mice and voles; insectivores, such as shrews and hedgehogs; hares; and several bird species, including migratory birds (...). Small mammals, which often are reservoir-competent hosts, are mainly infested by larval ticks, to a lesser extent by nymphs, but rarely by adult ticks. Medium-sized mammals, such as hares, and large mammals, such as game, cattle and horses, are infested by all tick stages. These latter mammals are reservoir-incompetent but are nevertheless important for pathogen transmission as they provide food for large numbers of adult females, thereby contributing to higher tick abundance (...). Studies have shown that in areas where game, such as roe deer and cattle, is present ticks are more abundant (...) and the number of reported LB cases is higher (...).“<sup>66</sup>

Am 21. November 2013 erläuterte Dr. Eoin Healy vom University College Cork im Joint Committee on Health and Children des irischen Parlaments zum Thema “*Prevention and Treatment of Lyme Disease: Discussion*“ Folgendes:

“There is an increasing risk of contracting Lyme disease in Ireland. The risk is strongly correlated with the density of ticks in a particular area. Persistence of the tick species transmitting Lyme disease in a particular area requires the presence of a sufficient number of large host animals on which the adult ticks can feed and obtain blood meals prior to producing a new generation of parasites. The animals involved are usually cattle, sheep, goat or deer. In Ireland up to 30 years ago, the particular tick species responsible for Lyme disease was, in relative terms, sparsely distributed. They would have been known by livestock farmers in particular parts of the country as transmitters of a few diseases such as redwater fever and louping-ill virus to domestic farm animals. The majority of urban dwellers would never have heard of a tick, let alone seen one.

---

65 Raileanu, Cristian; Moutailler, Sara; Pavel, Ionuț; Porea, Daniela; Mihalca, Andrei D.; Savuta, Gheorghe; Vayssier-Taussat, Muriel (2017). *Borrelia Diversity and Co-infection with Other Tick Borne Pathogens in Ticks*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5306127/>

66 Lindgren, Elisabet; Jaenson, Thomas G.T. (2006). Lyme borreliosis in Europe: influences of climate and climate change, epidemiology, ecology and adaptation measures. WHO Europe. [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0006/96819/E89522.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0006/96819/E89522.pdf)

*Significant changes in the landscape have since occurred. Re-afforestation and the development of recreational forest parks have provided ideal habitats for expansion of the population size and distributional area of both the native red deer and the introduced sika deer. Escapes from fenced areas and parks, along with their reproduction in the wild, mean that deer are now widespread across much of rural Ireland. For example, between 1978 and 2008, the distributional area occupied by red deer has shown an overall increase of over 560%.*

*The behaviour patterns of deer together with their short fur result in them being able to feed for greater numbers of ticks than, say, sheep. As a consequence, we are seeing significant growth in tick numbers in areas where deer are common. In some places, tick numbers are as high as any on continental Europe. Greater use by humans of recreational forest parks and growth in outdoor activities such as hill-walking are resulting in increasing contact between humans and ticks. This increased contact inevitably increases the risk of tick bite and, therefore, the risk of contracting Lyme disease. (...).*

*As things stand, deer numbers will continue to increase and will, therefore, serve to further amplify the growth in tick numbers. Climate change and farming practices are together creating more favourable conditions for tick survival. Increasing contact between ticks and humans will inevitably result in a rise in the incidence of Lyme disease. It is not possible to significantly reduce either the deer population or the tick population by human effort. In the absence of this, an educational approach will be the cheapest and most effective strategy.”<sup>67</sup>*

Mysterud, Atle et al. (2015) zeigen auf, dass sowohl die räumliche als auch die zeitliche Hirschkichte die Inzidenz von Lyme-Borreliose erhöht:

*“we show that both high spatial and temporal deer population density increase Lyme disease incidence. However, the trajectories of deer population sizes play an overall limited role for the recent emergence of the disease. Our study suggests that managing deer populations will have some effect on disease incidence, but that Lyme disease may nevertheless increase as multiple drivers are involved.”<sup>68</sup>*

Auch das Immunsystem von **Eidechsen** besitzt eine besondere Kompetenz, wie Clark/Hu (2008) in ihrem Aufsatz *Prevention of Lyme Disease (and other tick borne infections)* beschreiben:

*“B. Burgdorferi is killed when exposed to lizard blood. Thus, eliminating the hosts, or reducing vector competence for an organism (i.e. preventing the vector from acquiring or transmitting an organism) may be an effective strategy for preventing Lyme disease in humans. The*

---

67 <http://oireachtasdebates.oireachtas.ie/debates%20authoring/debateswebpack.nsf/committees/takes/HEJ2013112100005?opendocument>

68 Mysterud, Atle et al. (2015). *Contrasting emergence of Lyme disease across ecosystems*. <https://www.nature.com/articles/ncomms11882>

*major amplifying host for Borrelia burgdorferi in the U.S. is the white footed mouse (Peromyscus leucopus).*<sup>69</sup>

Auf die in der Literatur beschriebene Verdünnungseffekt-Hypothese (“Dilution effect” hypothesis)<sup>70</sup> wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Es wird stattdessen auf den aktuellen Wissenstand hierzu bei Kilpatrick et al. (2017)<sup>71</sup> verwiesen.

#### **5. Gibt es wissenschaftliche Erkenntnisse wie das Immunsystem von Wiederkäuern Borrelien bekämpft? Falls ja können sich daraus Ansätze für die Behandlung von Borreliose ergeben, gibt es Forschungsprojekte in dieser Richtung?**

Auf die Frage, ob es wissenschaftliche Erkenntnisse gebe wie das Immunsystem von Wiederkäuern Borrelien bekämpft, antwortete Nijhof, es werde vermutet, dass der alternative Weg der Komplementaktivierung<sup>72</sup> dabei eine Rolle spiele und anwesende Komponenten in der Blutmahlzeit die vorhandene Borrelien in den Zecken eliminieren würden.<sup>73</sup> Nijhof verwies auf Veröffentlichungen von Nelson et al. (2000) und Kurtenbach et al. (2002), die nachfolgend kurz besprochen werden:

Kurtenbach et al. (2002) vermuten, dass das Komplementsystem von Wirbeltieren eine der Hauptkomponenten der Immunantwort ist („*complement system of vertebrates is one of the major*

---

69 Clark, Roger P; Hu, Linden T. (2008). Prevention of Lyme Disease (and other tick borne infections). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3195518/>

Siehe hierzu auch: Richter D, Matuschka F-R (2006). Perpetuation of the Lyme disease spirochete *Borrelia lusitaniae* by lizards.

Der Entomologe Robert Lane vom University College “*has discovered that a substance found in the blood of the common western fence lizard kills Lyme disease bacteria in the gut of juvenile ticks that feed on it. It may help explain why there is far less Lyme disease in California than in the eastern United States, where the lizard does not live*”<http://www.anapsid.org/lyme/sceloporus.html>;

Siehe auch <https://www.sciencedaily.com/releases/2017/04/170424152515.htm>; Lizards Slow Lyme Disease in West Ticks bite them - and leave with purified blood. Sabin Russell, San Francisco Chronicle, April 17, 1998. <http://www.anapsid.org/lyme/sceloporus.html>; Andrea Swei, Richard S. Ostfeld, Robert S. Lane, Cheryl J. Briggs. *Impact of the experimental removal of lizards on Lyme disease risk*

70 “(…), the dilution effect was officially defined in 2000 by Ostfeld and Keesing as the reduction in vector-borne pathogen transmission that occurs through the presence of a diverse set of potential host species, some of which are relatively or completely incompetent as hosts (...). (...) research is needed to better understand both patterns and processes that result in dilution effects or their absence (...).“ (Quelle: <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-017-1999-6>)

71 Kilpatrick et al. (2017). S. 8f.

72 Zur Erläuterung: Das Komplementsystem aktiviert die Antwort des Immunsystems auf körperfremde Zellen. Bei der Kaskadenreaktion des Komplementsystems im Fall von Mikroorganismen wird u. a. zwischen dem klassischen und dem alternativen Weg der Aktivierung differenziert. <https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/Komplementsystem.100412.0.html>

73 Ard Nijhof, DVM PhD. Institut für Parasitologie und Tropenveterinärmedizin Freie Universität Berlin.

*effector components of defence against microorganisms*<sup>74</sup>). Der klassische Weg sei in der Regel antikörperabhängig, wohingegen der alternative Weg direkt durch die Zelloberflächen aktiviert werden könne („*the alternative pathway can be activated directed by cell surfaces*“<sup>75</sup>).

Nelson, David R. et al. (2000). *Complement-mediated killing of Borrelia burgdorferi by nonimmune sera from sika deer*. Abstract:

„*Various species of cervid deer [Hirschartigen] are the preferred hosts for adult, black-legged ticks (Ixodes scapularis and Ixodes pacificus) in the United States. Although frequently exposed to the agent of Lyme disease (Borrelia burgdorferi), these animals, for the most part, are incompetent as transmission reservoirs. We examined the borreliacidal activity of normal and B. burgdorferi-immune sera from sika deer (Cervus nippon) maintained in a laboratory setting and compared it to that of similar sera from reservoir-competent mice and rabbits. All normal deer sera (NDS) tested killed > 90% of B. burgdorferi cells. In contrast, normal mouse and rabbit sera killed < or = 22% of the Borrelia. Anti-B. burgdorferi antibodies could not be detected in any normal sera by indirect fluorescent antibody assay (IFA). Sera collected from deer 6 wk after exposure to B. burgdorferi by tick feeding exhibited IFA titers of 1:256, whereas sera from mice and rabbits similarly exposed had titers of > 1:1,024. Heat treatment (56 C, 30 min) of NDS reduced borreliacidal activity, with < 20% of the B. burgdorferi cells killed, suggesting complement-mediated killing. The chelators EGTA and EDTA were used to block the classical or both the classical and alternative complement pathways, respectively. Addition of 10 mM EGTA to NDS had a negligible effect on borreliacidal activity, with > 90% of the cells killed. Addition of 10 mM EDTA reduced the killing to approximately 30%, whereas the addition of Mg<sup>2+</sup> (10 mM) restored borreliacidal activity to NDS. The addition of zymosan A, an activator of the alternative pathway, increased the survival of B. burgdorferi cells to approximately 80% in NDS. These data suggest that the alternative complement activation pathway plays a major role in the borreliacidal activity of NDS. Additionally, 10 mM EGTA had almost no effect on the killing activity of B. burgdorferi-exposed deer sera, suggesting that the classical pathway is not involved in Borrelia killing, even in sera from B. burgdorferi-exposed deer.*“<sup>76</sup>

Auch nach telefonischen Angaben von Prof. Matuschka gibt es bislang noch keine wissenschaftlichen Erkenntnisse, wie das Immunsystem von Wiederkäuern Borrelien bekämpft.<sup>77</sup>

Laut Prof. Kraicy, vom Institut für Medizinische Mikrobiologie und Krankenhaushygiene des Universitätsklinikums Frankfurt am Main, sind die derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse, wie das Immunsystem von Wiederkäuern Borrelien bekämpft, außerordentlich fragmentarisch,

---

74 Kurtenbach, Kurt; De Michelis, Simona; Etti, Susanne; Schäfer, Stefanie M.; Sewell, Henna-Sisko; Brade, Volker; Kraiczy, Peter (2002). Host association of borrelia burgdorferi sensu lato – the key role of host complement. Trends in Microbiology. Vol. 10. No. 2, February 2002.

75 Ebenda.

76 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11191897>

77 Telefonat mit Prof. Matuschka im März 2017.



lückenhaft und nur wenig erforscht. Die institutseigenen Forschungsprojekte zum Thema Überleben von Borrelien in verschiedenen Tierspezies und der zugrundeliegenden Mechanismen der Immunevasion würden vermuten lassen, dass das angeborene Immunsystem der unterschiedlichen Tierspezies eine wesentliche Rolle in diesem Szenario spiele. Insbesondere der Interaktion der verschiedenen Borrelienspezies mit Komponenten des Komplementsystems der entsprechenden Tierspezies sei eine große wissenschaftliche Bedeutung zuzumessen. Durch institutseigene Untersuchungen hätte nachgewiesen werden können, dass Seren von Wiederkäuern eine sehr starke bakterizide Wirkung auf alle fünf humanpathogenen Borrelienspezies ausüben würden, die in Deutschland vorkommen. Seines Wissens gebe es allerdings in Deutschland keine Arbeitsgruppe, die dieses Forschungsgebiet bearbeite.<sup>78</sup> Eine wissenschaftliche Übersichtsarbeit zu diesem Aspekt aus dem Jahr 2016 von Kraicy *Travelling between Two Worlds: Complement as a Gatekeeper for an Expanded Host Range of Lyme Disease Spirochetes*<sup>79</sup> findet sich in den ANLAGEN.

Prof. Kraicy und weitere Experten gehen davon aus, dass weiterführende Untersuchungen auch aus medizinischer Sicht hilfreiche Ansätze liefern würden, um die Pathogenese der Lyme-Borreliose zu verstehen und um neue Therapieoptionen zu ermöglichen. Weitere, nicht nur punktuelle, sondern auch interdisziplinäre Untersuchungen wären sicherlich nicht nur für die Bekämpfung der LB, sondern möglicherweise auch für die Bekämpfung anderer Erreger, die von Zecken übertragen werden, gewinnbringend. Kilpatrick et al. (2017) listen die Bereiche auf, wo Unsicherheiten bestehen, und es weiterer Forschung bedarf:

*“Key areas of uncertainty include:*

*(i) the precise influence of deer abundance on tick abundance,*

*(ii) how tick populations are regulated,*

*(iii) assembly of host communities and tick-feeding patterns across different habitats,*

*(iv) reservoir competence of host species, and*

*(v) pathogenicity for humans of different genotypes of *Borrelia burgdorferi*.*

*Filling these knowledge gaps will improve Lyme disease prevention and control and provide general insights into the drivers and dynamics of this emblematic multi-host-vector-borne zoonotic disease.”<sup>80</sup>*

\*\*\*

---

78 E-Mail an Verfasser vom 17. Mai 2017.

79 Kraiczy, Peter (2016). *Travelling between Two Worlds: Complement as a Gatekeeper for an Expanded Host Range of Lyme Disease Spirochetes*. Veterinary sciences. MDPI. 2016, 3, 12. <http://www.mdpi.com/2306-7381/3/2/12/htm>

80 Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70187122>

## 6. Quellen

Rundgespräche der Kommission für Ökologie (2005). *Zur Ökologie von Infektionskrankheiten: Borreliose, Frühsommer Meningoenzephalitis (FSME) und Fuchsbandwurm*. Rundgespräch am 11. Oktober 2004 in München. Erika VON MUTIUS, Thomas LÖSCHER, Volker FINGERLE, Gerhard DOBLER, Annette POHL-KOPPE, Hans Hubert GERARDS, Andreas KÖNIG, Dirk VAN DER SANT, Josef H. REICHHOLF. Herausgegeben von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. Band 29. September 2005. Hrsg. Bayerische Akademie der Wissenschaften.

Allan, B. F.; Keesing, F.; Ostfeld, R. S. (2003). *Effects of habitat fragmentation on Lyme disease risk*. *Conserv Biol* 17: 267–272. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1046/j.1523-1739.2003.01260.x/epdf>

Asher, Claire (2016). *Lyme disease-carrying ticks are now in half of all U.S. counties*. Jan. 18, 2016 , 9:00 AM. <http://www.sciencemag.org/news/2016/01/lyme-disease-carrying-ticks-are-now-half-all-us-counties>

Bushmich, Sandra L. (1994). *Lyme Borreliosis in Domestic Animals*. *Journal of Spirochetel and Tickborne Diseases*. Vol. 1, No. 1

Becker, Noémie S.; Margos, Gabriele; Blum, Helmut; Krebs, Stefan; Graf, Alexander; Lane, Robert S., Castillo-Ramirez, Santiago; Sing, Andreas; Fingerle, Volker (2016). *Recurrent evolution of host and vector association in bacteria of the Borrelia burgdorferi sensu lato species complex*. *BMC Genomics*.

Boehnke, D.; Brugger, K.; Pfäffle, M., Sebastian, P.; Norra, S.; Petney, T.; Oehme, R.; Littwin, N.; Lebl, K.; Raith, J.; Walter, M.; Gebhardt, R.; Rubel, F. (2015). *Estimating Ixodes ricinus densities on the landscape scale*. *International Journal of Health Geographics* 14:23 doi:10.1186/s12942-015-0015-7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4536605>

Bouchard, C. et al. (2013). *Harvested White-Tailed Deer as Sentinel Hosts for Early Esthablishing Ixodes scapularis Populations and Risks from Vector-Borne Zoonoses in Southeastern Canada*. [http://www.medsp.umontreal.ca/IRSPUM\\_DB/pdf/27497.pdf](http://www.medsp.umontreal.ca/IRSPUM_DB/pdf/27497.pdf)

Caine, Jennifer A.; Coburn, Jenifer (2016). *Multifunctional and Redundant Roles of Borrelia burgdorferi Outer Surface Proteins in Tissue Adhesion, Colonization, and Complement Evasion:*

*“(…), complement protein resistance is achieved by Borrelia spp. through the action of a few outer surface proteins with multiple levels of redundancy. One aspect of redundancy is the ability of multiple Borrelia proteins to bind to and recruit the same complement inhibitory protein. This functional redundancy ensures the successful inhibition of the complement cascade at different stages of the pathway by multiple Borrelia proteins. Redundancy in protein function is a common theme for both the tissue binding and complement protein recruitment*

*aspects of Borrelia pathogenesis, and likely contribute largely to the pathogenic success of this bacterial genus.*<sup>81</sup>

Clark, Roger P; Hu, Linden T *Prevention of Lyme Disease (and other tick borne infections)*. Infect Dis Clin North Am. 2008 Sep; 22(3): 381–vii. doi: 10.1016/j.idc.2008.03.007. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3195518/>

Dobson, Andy; Cattadori, Isabella; Holt, Robert D.; Ostfeld, Richard S.; Keesing, Felicia; Krichbaum, Kristle; Rohr, Jason R.; Perkins, Sarah E.; Hudson, Peter J. (2006). *Sacred Cows and Sympathetic Squirrels: The Importance of Biological Diversity to Human Health*. <http://journals.plos.org/plosmedicine/article?id=10.1371/journal.pmed.0030231>

Dieterich, R.; Hammerschmidt, C.; Richter, D.; Skerka, C.; Wallich, R.; Matuschka, F.R.; Zipfel, P.F.; Kraiczy, P. (2010). *Inadequate binding of immune regulator factor H is associated with sensitivity of Borrelia lusitaniae to human complement*. Infect. Immunity 2010, 78, 4467–4476. (Abstract. <http://iai.asm.org/content/78/11/4467>)

Fietz J, Tomiuk J, Matuschka F-R, Richter D. 2014. *Seasonal prevalence of Lyme disease spirochetes in a heterothermic mammal, the edible dormouse (Glis glis)*. Appl Environ Microbiol 80: 12 3615-3621 doi: 10.1128/AEM.00251-14

Garcia, Gustavo Rocha; Gardinassi, Luiz Gustavo (2016). *Lyme Disease: Vectors and Reservoirs*. <http://smgebooks.com/lyme-disease/chapters/LD-16-03.pdf>

Gassner, Fedor; Verbaarschot, Patrick; Smallegange, Renate C.; Spitzen, Jeroen; Wieren, Sipke E. Van; Takken, Willem (2008). *Variations in Ixodes ricinus Density and Borrelia Infections Associated with Cattle Introduced into a Woodland in The Netherlands*. Laboratory of Entomology, Wageningen University, P.O. Box 8031, 6700 EH Wageningen, The Netherlands, and Resource Ecology Group, Wageningen University, Droevendaalsesteeg 3A, 6708 PB Wageningen, The Netherlands. Received 5 February 2008/Accepted 22 September 2008. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2592899/pdf/0310-08.pdf>

Gassner, Fedor; Takken, Willem; Lombaers-van der Plas, Carin; Kastelein, Pieter; Hoetmer, Arno J.; Holdinga, Maarten; Overbeek, Leonard S. van (o.D.). *Rodent species as natural reservoirs of Borrelia burgdorferi sensu lato in different habitats of Ixodes ricinus in The Netherlands*.

Gassner, Fedor (2010). *Tick tactics. Interactions between habitat characteristics, hosts and microorganisms in relation to the biology of the sheep tick Ixodes ricinus*.

Gilbert, L; Maffey, G. L. et al. . The effect of deer management on the abundance of Ixodes ricinus in Scotland <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1890/11-0458.1/full>

---

81 Caine, Jennifer A.; Coburn, Jenifer (2016). Multifunctional and Redundant Roles of Borrelia burgdorferi Outer Surface Proteins in Tissue Adhesion, Colonization, and Complement Evasion. Front Immunol. 2016; 7: 442. Published online 2016 Oct 21. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5073149/>

---

Gray, J. S. et al. (1992). *Studies on the ecology of Lyme disease in a deer forest in County Galway, Ireland*. J Med Entomol. 1992 Nov; 29(6): 915-20.

*“The abundance of the tick Ixodes ricinus (L.) and the infection rate of ticks with Borrelia burgdorferi (...) were compared on either side of a deer fence in a forest park in County Galway, Ireland, in an attempt to elucidate the role of fallow deer, Dama dama, and woodmice, Apodemus sylvaticus, in determining the population density of I. ricinus and the transmission of B. burgdorferi. The results showed that tick numbers were much higher on the deer side of the fence, although the density of mice was similar on both sides. This suggests that, in the absence of other obvious factors, deer rather than mice are responsible for tick abundance in this habitat. Tick infection rates, determined by immunofluorescence, were consistently higher outside the deer fence than inside it. It is suggested, therefore, that mice rather than deer may be the important reservoir hosts of B. burgdorferi in this habitat and that deer, by feeding many larvae, probably contribute large numbers of uninfected ticks to the population. If this is the case, there will not be a direct relationship between deer abundance and tick infection rates. This has important implications for risk assessment.”<sup>82</sup>*

Gray, J. S. (1998). *The ecology of ticks transmitting Lyme borreliosis*. Exp Appl Acarol. 1998; 22:249–58. Abstract:

*„The ticks acquire the spirochaetes from a wide variety of mammals and birds but large mammals do not seem to be infective, so that ticks that feed almost exclusively on large mammals, for example in some agricultural habitats, are rarely infected. The greatest tick infection prevalences occur in deciduous woodland harbouring a diverse mix of host species and the diversity of the different genospecies of B. burgdorferi s.l. is also greatest in such habitats. There is evidence that these genospecies have different host predilections but, apart from the fact that I. persulcatus [Ixodes persulcatus] does not seem to be infected by B. burgdorferi sensu stricto, they do not seem to be adapted to different tick strains or species.”<sup>83</sup>*

Gray, J. S. et al. (1999). *Borrelia burgdorferi sensu lato in Ixodes ricinus ticks and rodents in a recreational park in south-western Ireland*. Exp Appl Acarol. 1999;23:717–29.

Hallström, T.; Siegel, C.; Mörgelin, M.; Kraiczy, P.; Skerka, C.; P. F. Zipfel (2013). *CspA of Borrelia burgdorferi inhibits the terminal complement pathway*. mBio 4, 2013, e00481-13.

Hofmeester, T. R.; Coipan, E. C.; Wieren, S. E. van; Prins, H. H. T.; Takken, W.; Sprong, H. (2016). *Few vertebrate species dominate the Borrelia burgdorferi s.l. life cycle*. Published 20 April 2016. Environmental Research Letters, Volume 11, Number 4.

---

82 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1460628?dopt=Abstract>

83 *The ecology of ticks transmitting Lyme borreliosis*. Abstract: <https://link.springer.com/article/10.1023%2FA%3A1006070416135?LI=true>

Hornok, Sandor et al. (2014). *Influence of the Biotope on the Tick Infestation of Cattle and on the Tick-Borne Pathogen Repertoire of Cattle Ticks in Ethiopia*. PLOS. Published: September 23, 2014. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0106452>

Kampen, Helge; Rötzel, Diana C.; Kurtenbach, Klaus; Maier, Walter A.; Seitz, Hanns M. (2004). *Substantial Rise in the Prevalence of Lyme Borreliosis Spirochetes in a Region of Western Germany over a 10-Year Period*. Appl. Environ. Microbiol. March 2004 70:3 1576-1582

Kasumba, Irene N.; Bestor, Aaron; Tilly, Kit; Rosa, Patricia A. (2016). *Virulence of the Lyme disease spirochete before and after the tick bloodmeal: a quantitative assessment*. <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-016-1380-1>

Keesing, F.; Holt, R. D.; Ostfeld, R. S. (2006). *Effects of species diversity on disease risk*. Ecol Lett 9: 485–498.

Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). *Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70187122>

Kraiczy, Peter; Stevenson, Brian (2013). *Complement regulator-acquiring surface proteins of Borrelia burgdorferi: Structure, function and regulation of gene expression*. Ticks Tick Borne Dis. 2013;4:26–34. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3610323/>

Kraiczy, Peter (2016). *Hide and Seek: How Lyme Disease Spirochetes Overcome Complement Attack*. Frontiers in Immunology, September 2016, Volume 7, Article 385. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5036304/pdf/fimmu-07-00385.pdf>

Kraiczy, Peter (2016). *Travelling between Two Worlds: Complement as a Gatekeeper for an Expanded Host Range of Lyme Disease Spirochetes*. Veterinary sciences. MDPI. 2016, 3, 12. <http://www.mdpi.com/2306-7381/3/2/12/html>

Kurtenbach et al. (2002). *Host association of borrelia burgdorferi sensu lato – the key role of host complement*. Trends in Microbiology. Vol. 10. No. 2, February 2002.

Kurtenbach, K.; Schafer, S. M.; Sewell, H .S.; Peacey, M.; Hoodless, A.; Nuttall, P. A.; Randolph, S. E. (2002). *Differential survival of lyme borreliosis spirochetes in ticks that feed on birds*. Infect. Immunity 2002, 70, 5893–5895. <http://iai.asm.org/content/70/10/5893.full>

Lacombe, E., P. W. Rand, and R. P. Smith. 1993. Disparity of Borrelia burgdorferi infection rates of adult Ixodes dammini on deer and vegetation. J. Infect. Dis. 167: 1236–1238

LoGiudice, K.; Ostfeld, R. S.; Schmidt, K. A.; Keesing, F. (2003). *The ecology of infectious disease: Effects of host diversity and community composition on Lyme disease risk*. Proc Natl Acad Sci USA 100: 567–571. <http://www.pnas.org/content/100/2/567.full.pdf>

- Loken, K. I., C. C. Wu, R. C. Johnson, R. F. Bey. 1985. Isolation of the Lyme disease spirochete from mammals in Minnesota. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.* 179: 300-302
- Matuschka, F. R.; Spielman, A. (1987). *Zur Biologie der Lyme-Erkrankung in Nordamerika und Mitteleuropa*. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/biuz.19870170606/pdf>
- Matuschka, F. R.; Richter, D, Fischer, P, Spielman, A. (1990). *Nocturnal detachment of the tick Ixodes hexagonus from nocturnally active hosts*. *Med Vet Entomol* 4:415-420
- Matuschka, F. R.; Richter, D, Fischer, P, Spielman, A. (1990). *Time of repletion of subadult Ixodes ricinus ticks feeding on diverse hosts*. *Parasitol Res* 76:540-544
- Matuschka, F. R.; Richter, D.; Spielman A. (1991). *Differential detachment from resting hosts of replete larval and nymphal Ixodes ticks*. *J Parasitol* 77:341-345
- Matuschka, F. R.; Fischer, P.; Musgrave, K.; Richter, D.; Spielman, A. (1991). *Hosts on which nymphal Ixodes ricinus most abundantly feed*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1996733>
- Matuschka, F. R.; Fischer, P.; Heiler, M.; Richter, D.; Spielman, A. (1992). *Capacity of European animals as reservoir hosts for the Lyme disease spirochete*. *J. Infect. Dis.* 1992, 165, 479–483. (Abstract. <https://academic.oup.com/jid/article-lookup/doi/10.1093/infdis/165.3.479>)
- „The abundance of spirochete-infected *Ixodes ricinus* ticks naturally derived from endemic rodents was compared to identify the reservoir hosts of the agent of Lyme disease at a series of enzootic sites in Central Europe. Black-striped mice appear to be the most important rodent host for the tick and infect more ticks with *Borrelia burgdorferi* than do other mice and voles tested. Although rodents infect about half of the ticks that feed on them, lizards infect none. These spirochete-incompetent hosts dilute the force of transmission because many nymphal ticks feed on them. Older male hosts are more heavily infested by subadult ticks than are younger or female hosts. The intensity of transmission of the agent of Lyme disease at particular Central European sites appears to correlate directly with the presence of black-striped mice and inversely with that of lizards.“
- Matuschka, F. R.; Spielman, A. (1992). *Loss of Lyme disease spirochetes from Ixodes ricinus ticks feeding on European blackbirds*. [http://ac.els-cdn.com/0014489492900429/1-s2.0-0014489492900429-main.pdf?\\_tid=b034807e-3ec7-11e7-84d1-00000aab0f6b&acdnat=1495441483\\_569af0d5061785b0af96dea3900f9327](http://ac.els-cdn.com/0014489492900429/1-s2.0-0014489492900429-main.pdf?_tid=b034807e-3ec7-11e7-84d1-00000aab0f6b&acdnat=1495441483_569af0d5061785b0af96dea3900f9327)
- Matuschka, F. R.; Heiler, M.; Eiffert, H.; Fischer, P.; Lotter, H.; Spielman, A. (1993). *Diversionsary role of hoofed game in the transmission of Lyme disease spirochetes*. *Am. J. Trop. Med. Hyg.* 1993, 48, 693–699.

“To determine whether the presence of ungulates may inhibit transmission of the agent of Lyme disease (*Borrelia burgdorferi*) while promoting the abundance of its European vector tick (*Ixodes ricinus*), we compared the feeding density of subadult ticks on roe deer (*Capreolus capreolus*), red deer (*Cervus elaphus*), fallow deer (*Dama dama*), and wild sheep (*Ovis ammon*) near Berlin and in Brandenburg State, Germany. The prevalence of spirochetal infection in these ticks was compared with that in ticks swept from nearby vegetation. Spirochetes

*are present in nearly one-fifth of nonfed, questing nymphal and adult wood ticks in the region. Many ungulates in this intensely enzootic region fail to mount a detectable humoral response against the agent of Lyme disease, even when exposed to numerous infected ticks. During the height of the summer, each ungulate may support the feeding of hundreds of subadult ticks. Larvae feed lower on the bodies of hoofed game than do nymphs. Few ticks retain infection by the Lyme disease spirochete after feeding on hoofed game animals. We conclude that numerous I. ricinus ticks feed on ungulates, but that such host-contact fails to infect these ticks while eliminating pre-existing spirochetal infection.”<sup>84</sup>*

Matuschka, F. R.; Endepols, S, Richter D, Ohlenbusch A, Eiffert H, Spielman A.(1996). Risk of urban Lyme disease enhanced by rats. *J Infect Dis* 174:1108-1111

Matuschka, F.-R.; Endepols S, Richter D, Spielman A. (1997). *Competence of urban rats as reservoir hosts for Lyme disease spirochetes.* *J Med Entomol* 34:489-493

Matuschka, F. R.; Klug, B., Schinkel TW, Spielman A, Richter D. (1998). *Diversity of European Lyme disease spirochetes at the southern margin of their range.* *Appl Environ Microbiol* 64:1980-1982

Matuschka, F.-R.; Schinkel T. W, Klug B, Spielman A, Richter D. (1998). *Failure of Ixodesticks to inherit Borrelia afzeliiinfection.* *Appl Environ Microbiol* 64:3089-3091

Matuschka, F. R.; Schinkel, T. W.; Klug, B.; Spielman, A.; Richter, D. (2000). *Relative incompetence of European rabbits for Lyme disease spirochaetes.* 16 October 2000. Volume 121, Issue 3. September 2000, pp. 297-302. Abstract:

*“To determine whether rabbits may serve as reservoir hosts for Lyme disease spirochaetes in Europe, we compared their competence as hosts for Borrelia afzelii, one of the most prevalent European spirochaetal variants, with that of the Mongolian jird. To infect rabbits or jirds, at least 3 nymphal or adult Ixodes ricinus ticks infected with spirochaetes fed to repletion on each animal. Whereas jirds readily acquired tick-borne Lyme disease spirochaetes and subsequently infected vector ticks, rabbits exposed to tick-borne spirochaetes rarely became infectious to ticks. Only the rabbit that was infectious to ticks developed an antibody response. To the extent that I. Ricinus ticks feed on European rabbits, these mammals may be zooprophylactic by diverting vector ticks from more suitable reservoir competent hosts.”<sup>85</sup>*

Matuschka, F. R.; Richter, D. (2002). *Mosquitoes and soft ticks cannot transmit Lyme disease spirochetes.* *Parasitol Res* 88:283-284

---

84 <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8517488>

85 Matuschka, F. R.; Schinkel, T. W.; Klug, B.; ; Spielman, A.; Richter, D. (2000). <https://www.cambridge.org/core/journals/parasitology/article/div-classtitlerelative-incompetence-of-european-rabbits-for-lyme-disease-spirochaetesdiv/55C1254DD0FA3FF02B067755CAF9431D> Abstract

---

Matuschka, Franz-Rainer (2003). *Borrelien nutzen den Hang zur Natur. Artenreiche Biotope begünstigen die Ausbreitung der Lyme-Krankheit*. Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 23. Juli 2003 Frankfurter Allgemeine Zeitung vom 23.07.2003, S. 0N2.

Matuschka, Franz-Rainer; Richter, Dania (2006). Modulatory Effect of Cattle on Risk for Lyme Disease. *Emerging Infectious Diseases*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3291337/pdf/05-1552.pdf>

Mysterud, Atle et al. (2015). *Contrasting emergence of Lyme disease across ecosystems*. <https://www.nature.com/articles/ncomms11882>

Nelson, David R. et al. (2000). *Complement-mediated killing of Borrelia burgdorferi by nonimmune sera from sika deer*.

Nielsen, Doris; Jørgensen, Anna (2009). *Die Zecke – faszinierend und gefährlich*. <http://www.tickcard.co.uk/wp-content/uploads/2016/05/TickBookGerman.pdf>

Ostfeld, R. S.; Keesing, Felicia (2000). *Biodiversity and Disease Risk: The case of Lyme disease*. *Conserv Biol* 14: 722–728. [http://moderncms.ecosystemmarketplace.com/repository/moderncms\\_documents/biodiversity.pdf](http://moderncms.ecosystemmarketplace.com/repository/moderncms_documents/biodiversity.pdf)

Petzke, Mary; Schwartz, Ira (2015). *Borrelia burgdorferi Pathogenesis and the Immune Response*

- “There is substantial genotypic variation among *B burgdorferi* strains, and evidence suggests that certain strains have a greater probability of causing disseminated infection.
- *Borrelia burgdorferi* produces several adhesins that mediate binding to decorin, fibronectin, other glycosaminoglycans (GAGs), and integrins.
- Infection induces the synthesis of a variety of proinflammatory and antiinflammatory cytokines and chemokines by host immune cells that includes a type I interferon (IFNs) response that seems to depend on the genotype of the infecting *B burgdorferi* strain.
- The spirochete can evade the host immune response by resistance to complement-mediated killing facilitated by factor-H-binding proteins and by antigenic variation.”<sup>86</sup>

Raileanu, Cristian; Moutailler, Sara; Pavel, Ionuț; Porea, Daniela; Mihalca, Andrei D.; Savuta, Gheorghe; Vayssier-Taussat, Muriel (2017). *Borrelia Diversity and Co-infection with Other Tick Borne Pathogens in Ticks*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5306127/>

---

86 Clinics in Laboratory Medicine 35(4). August 2015 [https://www.researchgate.net/publication/283895370\\_Borrelia\\_burgdorferi\\_Pathogenesis\\_and\\_the\\_Immune\\_Response](https://www.researchgate.net/publication/283895370_Borrelia_burgdorferi_Pathogenesis_and_the_Immune_Response)



---

Rathinavelu, Sivaprakash; Broadwater, Anne; Silva, Aravinda M. de (2003). *Does Host Complement Kill Borrelia burgdorferi within Ticks?*

*“The Lyme disease spirochete, Borrelia burgdorferi, inhabits the gut lumen of the tick vector. At this location the spirochete is exposed to host blood when a tick feeds. We report here on studies that were done with normal and complement-deficient (C3-knockout) mice to determine if the host complement system killed spirochetes within the vector. We found that spirochete numbers within feeding nymphs were not influenced by complement, most likely because host complement was inactivated within the vector. The Lyme disease outer surface protein A (OspA) vaccine is a transmission-blocking vaccine that targets spirochetes in the vector. In experiments with mice hyperimmunized with OspA, complement was not required to kill spirochetes within nymphs and to block transmission from nymphs to the vaccinated host. However, host complement did enhance the ability of OspA antibody to block larvae from acquiring spirochetes. Thus, the effects of OspA antibody on nymphal transmission and larval acquisition appear to be based on different mechanisms.”<sup>87</sup>*

Richter, D.; Spielman A, Matuschka F-R. (1998). *Effect of prior exposure to noninfected ticks on susceptibility of mice to Lyme disease spirochetes.* Appl Env Microbiol 64:4596-4599

Richter, D.; Spielman A, Komar N, Matuschka F-R. (2000). *Competence of American robins as reservoir hosts for Lyme disease spirochetes.* Emerg Infect Dis 6:133-138

Richter, D.; Allgöwer R, Matuschka F-R. (2002). *Co-feeding transmission and its contribution to the perpetuation of the Lyme disease spirochete Borrelia afzelii.* Emerg Infect Dis 8:1421-1425

Richter, D.; Schlee D, Matuschka, F. R. (2003). *Relapsing fever-like spirochetes infecting European vector tick of Lyme disease agent.* Emerg Infect Dis 9:697-701

Richter, D.; Klug B, Spielman A, Matuschka F-R. (2004). *Adaptation of diverse Lyme disease spirochetes in a natural rodent reservoir host.* Infect Immun 72:2442-2444

Richter, D.; Schlee, D.; Allgöwer, R.; Matuschka, F. R. (2004). *Relationships of a Novel Lyme Disease Spirochete, Borrelia spielmani sp. nov., with Its Hosts in Central Europe.* APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Nov. 2004, Vol. 70, No. 11, p. 6414–6419.

Richter, D.; Matuschka F-R. (2006). *Perpetuation of the Lyme disease spirochete Borrelia lusitaniae by lizards.* Appl Environ Microbiol 72:4627-4632

Richter, D.; Postic, D.; Sertour, N.; Livey, I.; Matuschka F.-R., 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 Syst Evol Microbiol 56:873-881

---

87 Rathinavelu, Sivaprakash; Broadwater, Anne; Silva, Aravinda M. de (2003). *Infect Immun.* 2003 Feb; 71(2): 822–829. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC145400/>

- 
- Richter, D.; Matuschka F.-R. (2010). Elimination of Lyme disease spirochetes from ticks feeding on domestic ruminants. *Appl Environ Microbiol* 76:7650-7652
- Richter, D.; Schlee, D. B.; Matuschka, F. R. (2011). *Reservoir competence of various rodents for the lyme disease spirochete Borrelia spielmanii*. *Appl. Environ. Microbiol.* 2011, 77, 3565–3570.
- Richter, D.; Matuschka F. R. (2011). Differential risk for Lyme disease along hiking trail. Germany. *Emerging Infectious Diseases*. Vol 17, No.9, September 2011.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3322059/>
- Richter, D.; Schröder, Boris; Hartmann, Niklas K.; Matuschka, Franz-Rainer (2012). *Spatial stratification of various Lyme disease spirochetes in a Central European site*. Received 16 July 2012; revised 13 September 2012; accepted 5 October 2012. Final version published online 12 November 2012. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/1574-6941.12029/pdf>
- Richter, D.; Matuschka F-R. (2012). *Differential contribution of various dormice to the natural transmission cycle of Lyme disease spirochetes in Central Europe*. *Peckiana* 8:235-244.
- Richter, D.; Debski A, Hubalek Z, Matuschka F-R. (2012). *Absence of Lyme disease spirochetes in larval Ixodes ricinus ticks*. *Vector-borne Zoonotic Dis* 12:21-27.
- Richter, D.; Matuschka F-R. (2012). „*CandidatusNeoehrlichia mikurensis*“, *Anaplasma phagocytophilum* and *Lyme disease spirochetes* in questing European vector ticks and in feeding ticks removed from people. *J Clin Microbiol* 50:943-947.
- Richter, D.; Kohn C, Matuschka, F. R. (2013). *Absence of Borrelia spp., Candidatus Neoehrlichia mikurensis, and Anaplasma phagocytophilum in questing adult Dermacentor reticulatus ticks*. *Parasitol Res* 112:107-111.
- Richter, D.; Matuschka F-R, Spielman A, Mahadevan L. (2013). How ticks get under your skin – Insertion mechanics of the feeding apparatus of Ixodes ricinus ticks. *Proc Roy Soc B*, 2013
- Ruiz-Fons, Francisco; Fernández-de-Mera, Isabel G.; Acevedo, Pelayo; Gortázar, Christian; Fuentea, José de la (2012). *Factors Driving the Abundance of Ixodes ricinus Ticks and the Prevalence of Zoonotic I. ricinus-Borne Pathogens in Natural Foci*. Spain/Portugal.  
<http://www.asm.org/images/Communications/tips/2012/0412ticks.pdf>
- Sala, Vittorio; De Faveri, Eleonora (2017). *Epidemiology of Lyme Disease in Domestic and Wild Animals*.
- „Small rodents and some birds are responsible for retaining pathogens, while the large domestic and wild animals contribute to the increase in the number of ticks in the area and to the transmission of borreliosis among themselves through the cofeeding phenomenon.“
- Schmidt, Kenneth A.; Ostfeld, Richard S. (2001). *Biodiversity and the dilution effect in disease ecology*. Institute of Ecosystem Studies, Box AB, Millbrook, New York 12545 USA. *Ecology*, 82(3), 2001, pp. 609–619. [https://www.nps.gov/public\\_health/zed/documents/Biodiversity%20and%20the%20Dilution.pdf](https://www.nps.gov/public_health/zed/documents/Biodiversity%20and%20the%20Dilution.pdf)

Schwab, J.; Hammerschmidt, C.; Richter, D.; Skerka, C.; Matuschka, F. R.; Wallich, R.; Zipfel, P. F.; Kraiczy, P. (2013). *Borrelia valaisiana resist complement-mediated killing independently of the recruitment of immune regulators and inactivation of complement components*. PLoS ONE 2013, 8, e53659. <http://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0053659>

States, S. L. et al. (2014). *Lyme disease risk not amplified in a species-poor vertebrate community: similar Borrelia burgdorferi tick infection prevalence and OspC genotype frequencies*. PMC 2015 Aug 27. Infect Genet Evol. 2014 Oct; 27: 566–575. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4551427/>

Stone, Brandee L.; Brissette, Catherine A. *Host Immune Evasion by Lyme and Relapsing Fever Borreliae: Findings to Lead Future Studies for Borrelia miyamotoi*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5243832/>

Tälleklint, L., Jaenson, T. G. (1997). *Infestation of mammals by Ixodes ricinus ticks (Acari: Ixodidae) in south-central Sweden*. Exp Appl Acarol. 1997;21:755–71 10.1023/A:1018473122070. Abstract. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9423270>

Telford, S. R. et al. (1988). *Incompetence of deer as reservoir of the Lyme disease spirochete*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 39, 105-109.

Tracy, Karen E.; Baumgarth, Nicole (2017). *Borrelia burgdorferi Manipulates Innate and Adaptive Immunity to Establish Persistence in Rodent Reservoir Hosts*. Front Immunol. 2017; 8: 116. Published online 2017 Feb 20. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5316537/>

Uspensky, Igor (2016). *Blood-Sucking Ticks (Acari: Ixodoidea) and their Mammalian Hosts in the Urban Environment: A Review*. [https://www.researchgate.net/publication/301357430\\_Blood-sucking\\_ticks\\_Acari\\_Ixodoidea\\_and\\_their\\_mammalian\\_hosts\\_in\\_the\\_urban\\_environment\\_A\\_review](https://www.researchgate.net/publication/301357430_Blood-sucking_ticks_Acari_Ixodoidea_and_their_mammalian_hosts_in_the_urban_environment_A_review)

Wilking, H., Fingerle, V., Klier, C., Thamm, M., Stark, K. (2015). *Antibodies against Borrelia burgdorferi sensu lato among adults, Germany, 2008–2011*. Emerg. Infect. Dis. 21 (1): 107–110. Epub 2014 Dec 4. doi: 10.3201/eid2101.140009. <http://edoc.rki.de/oa/articles/reNbdO6Ew-cNZ6/PDF/29lXlrAS5DezA.pdf>

Zintl, Annetta et al. (2017). *Ticks and Tick-borne diseases in Ireland*. Irish Veterinary Journal (2017). <https://irishvetjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13620-017-0084-y>

Süddeutsche Zeitung-Online. *Infektionskrankheit - Wie Sie sich vor Zecken schützen*. 3. April 2016. <http://www.sueddeutsche.de/gesundheit/borreliose-ruhig-blut-1.2930087-2>

## 7. ANLAGEN

Matuschka, Franz-Rainer; Richter, Dania (2006). *Modulatory Effect of Cattle on Risk for Lyme Disease. Emerging Infectious Diseases*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3291337/pdf/05-1552.pdf>

**ANLAGE 1**

Telford, S. R. et al. (1988). *Incompetence of deer as reservoir of the Lyme disease spirochete*. Am. J. Trop. Med. Hyg. 39, 105-109.

**ANLAGE 2**

Kraiczy, Peter (2016). *Travelling between Two Worlds: Complement as a Gatekeeper for an Expanded Host Range of Lyme Disease Spirochetes*. Veterinary sciences. MDPI. 2016, 3, 12.  
<http://www.mdpi.com/2306-7381/3/2/12/htm>

**ANLAGE 3**

Kraiczy, Peter (2016). *Hide and Seek: How Lyme Disease Spirochetes Overcome Complement Attack*. Frontiers in Immunology, September 2016, Volume 7, Article 385.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5036304/pdf/fimmu-07-00385.pdf>

**ANLAGE 4**

Kurtenbach et al. (2002). *Host association of borrelia burgdorferi sensu lato – the key role of host complement*. Trends in Microbiology. Vol. 10. No. 2, February 2002.

**ANLAGE 5**

Richter, D.; Matuschka F.-R. (2010). *Elimination of Lyme disease spirochetes from ticks feeding on domestic ruminants*. Appl Environ Microbiol 76:7650-7652.

**ANLAGE 6**

Richter, D.; Matuschka F. R. (2011). *Differential risk for Lyme disease along hiking trail*. Germany. Emerging Infectious Diseases. Vol 17, No.9, September 2011.

**ANLAGE 7**

Kilpatrick, A. Marm; Dobson, Andrew D.M.; Levi, Taal; Salkeld, Daniel J.; Swei, Andrea; Ginsberg, Howard; Kjemtrup, Anne; Padgett, Kerry A.; Jensen, Per A.; Fish, Durland; Ogden, Nick H.; Diuk-Wasser, Maria A (2017). *Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control*. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. <https://pubs.er.usgs.gov/publication/70187122>

**ANLAGE 8**