

Programm Lebensgrundlage Umwelt
und ihre Sicherung (BWPLUS)

Zwischenbericht anlässlich des Statuskolloquiums
Umweltforschung Baden-Württemberg 2015

am 24. und 25. Februar 2015
im Haus der Wirtschaft Karlsruhe

Untersuchung der Ökologie von Zecken als Überträger von Krankheitserregern in Baden-Württemberg in Bezug auf Habitat, Landnutzung, Wirtstiere und Klima

von

Petney T.¹, Pfäffle M.¹, Littwin N.¹, Norra S.², Böhnke D.², Hogewind F.², Gebhardt R.², Oehme R.³,
Steidle J.⁴, Kahl O.⁵, Dautel H.⁵

¹ Abteilung für Ökologie und Parasitologie, Zoologisches Institut, Karlsruher Institut für Technologie
(KIT)

² Institut für Geographie und Geoökologie, Karlsruher Institut für Technologie (IfGG, KIT)

³ Landesgesundheitsamt Stuttgart (LGA)

⁴ FG Tierökologie, Institut für Zoologie, Universität Hohenheim

⁵ tick-radar GmbH, Berlin

Förderkennzeichen: BWZ 11001, 11005, 11006, 11007

Die Arbeiten des Programms „Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung“ werden mit Mitteln des
Landes Baden-Württemberg gefördert.

Zusammenfassung

Wie bereits in den vorigen beiden Zwischenberichten 2012 und 2013 dargelegt, wurde die projektbezogene Datenerhebung im Jahr 2014 weiter fortgeführt. Daher stehen uns zum heutigen Zeitpunkt Daten für den Zeitraum von Mai 2012 bis Dezember 2014 zur Verfügung. Die Datenaufnahme wird zudem bis Mai 2015 weitergeführt werden, wodurch abschließend Daten für einen Zeitraum von vollen drei Jahren vorhanden sein werden. Innerhalb wie auch zwischen den Jahren wurden erneut sowohl an den Intensivstandorten als auch an den Basisstandorten Schwankungen von erheblichem Ausmaß beobachtet. Dies bezieht sich sowohl auf die biotischen wie die abiotischen Parameter (inklusive des Mikroklimas) der Untersuchung. Um ein Beispiel zu nennen, variierte die mittlere Dichte aktiver *Ixodes ricinus* Nymphen im Jahr 2013 von 0 bis hin zu 120 Individuen/100m² zwischen verschiedenen Standorten, im Jahr 2014 lag die Varianz zwischen den Standorten hingegen deutlich niedriger mit 0 bis <50 Nymphen/100m² t. Abhängig von Standort und Jahr traten zudem sowohl unimodale (Aktivitätspeak im Frühling) als auch bimodale (je ein Aktivitätspeak in Frühjahr und Herbst) Verteilungsmuster der Zeckenaktivität auf. Dies weist darauf hin, dass das bisher für Mitteleuropa postulierte bimodale Aktivitätsmuster nicht allgemeingültig ist, und dies bereits auf der Ebene Baden-Württembergs. Dies hat aller Wahrscheinlichkeit nach bedeutenden Einfluss auf das Risiko der Pathogentransmission. Des Weiteren zeigten sich zwischen den Untersuchungsjahren ausgeprägte Unterschiede in Bezug auf die Kleinsäugeraktivität bzw. -abundanz an den Intensivstandorten. Nach einem dramatischen Rückgang der Populationsdichte nach dem außergewöhnlich langen wie kalten Winter 2012/2013 konnte für 2014 eine Erholung der Kleinsäugerpopulation beobachtet werden, mit Ausnahme des Höhenstandortes im Schwarzwald bei Bad Herrenalb, wo die Anzahl gefangener Kleinsäuger weiterhin in etwa auf dem Niveau von 2013 zurückblieb. Im Verlauf der vorliegenden, annähernd drei Untersuchungsjahre wurden insgesamt 18.937 Zecken von Kleinsäufern gesammelt. 94,2% davon entfielen auf *I. ricinus* (davon 92,6% Larven und 1,6% Nymphen), 5,1% auf *Dermacentor reticulatus*, sowie weitere, geringfügige Anteile auf *Ixodes trianguliceps* (0,4%) sowie *Ixodes acuminatus* (0,3%). Auch hier stellen Unterschiede zwischen den Beprobungsjahren tendenziell eher die Regel als die Ausnahme dar. Wie bereits oben für die von der Vegetation gesammelten Zecken beschrieben, findet sich auch bei der Abundanz von Larven auf Kleinsäufern sowohl ein unimodales als auch bimodales Muster (und in einem Fall sogar ein trimodaler Verlauf). An keinem Standort folgte die Zeckenaktivität in allen drei Jahren demselben Muster. Die abschließende Pathogenanalyse für das Jahr 2014 konnte bisher aufgrund verringerter finanzieller Mittel nicht abgeschlossen werden. Besonders hervorzuheben sind hier die Daten für ein neues, noch wenig charakterisiertes Pathogen *Candidatus Neoehrlichia mikurensis* aus dem Jahr 2013. Dieses Pathogen zeigt tendenziell recht hohe Prävalenzen im Untersuchungsgebiet, jedoch mit ausgeprägtem räumlichem Bezug. An den Intensivstandorten konnten bisher beispielsweise Werte zwischen 0% (Schwarzwald) bis hin zu 23,6% im Hardtwald nachgewiesen werden. Die erste umfassendere Analyse mit Modellierung der Zeckenverbreitung konnte durch die Kooperation mit Prof. Franz Rubel der Veterinärmedizinischen Universität Wien initiiert werden. Basierend auf einem Generalized Linear Model (GLM) entstand so die erste Karte ihrer Art, welche die Abundanz von *I. ricinus* Nymphen in Baden-Württemberg darstellt, unter Miteinbeziehung von Klimarasterdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD). Die Zeckenabundanz wurde hierbei mit einer Auflösung von 5x5km Rastern berechnet. Bisher konnten Modelle erstellt werden, die bis zu 78% der Variabilität in den Daten der von der Vegetation gesammelten Zecken erklären.

Abstract

During the year 2014 the data collection for the project was continued as outlined in the first and second interim reports. Thus, data are now available for the period May 2012 to December 2014 with the prospect of continuing until May 2015, providing a full 3 years of data. This has allowed us continue with our qualitative and quantitative analyses. Variation continues to be substantial among the intensively studied and small scale sites for both the biotic and abiotic (including microclimatic) parameters within and between years. The mean density of nymphs, for example, varied from 0 to 120/100m² between sites for 2013, while for 2014, although substantial intersite variability occurred, the density ranges between 0 and <50 nymphs/100m². Both bimodal (spring and autumn) and unimodal (spring) peaks occurred depending on the site and year, indicating that the bimodal scenario expected for Central Europe does not always occur. This has substantial implications for transmission risk analysis. There were also differences between years when comparing small mammal activity in the intensively studied sites. After the dramatic reduction in rodent populations following the long, cold winter of 2012/2013, the all populations recovered in 2014 to the levels seen in 2012 except for the higher altitude Black Forest site which remained at the same level as 2013. Over the 3 years of the study to date, a total of 18,937 ticks were collected from small mammals. Of these 94.2% were *I. ricinus* (larvae 92.6%, nymphs 1.6%) together with limited numbers of *Dermacentor reticulatus* (5.1%), *Ixodes acuminatus* (0.3%) and *Ixodes trianguliceps* (0.4%). Difference between years and sites were the rule rather than the exception. As with data from dragging for nymphs, both unimodal and bimodal (and in one case trimodal) patterns of abundance were found for larvae. At not site was the same pattern of abundance found over all three years. Due to reduced funding, the analysis of pathogens has not yet been finalized. Data have, however, become available for *Candidatus Neorhlichia mikurensis* for 2013. These show generally high prevalences with substantial geographical differences with values at the intensive stations ranging from 0% (Black Forest) to 23.58% (Hardtwald). The first large scale analysis of data was initiated in cooperation with Prof. Dr. F. Rubel from the University of Veterinary Medicine, Vienna, Austria. This has produced the first map of its type in Europe of *I. ricinus* nymph abundance, based on a general linear model taking into consideration climate grid data from the German Weather Service. Abundance is calculated on a 5x5 km grid system. The model accounts for 78% of the variability in the tick data collected.

1. Einleitung

Das Vorkommen zeckenübertragener Krankheiten in einer Region wird durch eine Vielzahl verschiedener ökologischer Faktoren beeinflusst. Bislang existieren keine Langzeitstudien, welche die komplexe Beziehung zwischen Zecken, zeckenübertragenen Pathogenen und der biotischen wie abiotischen Umwelt ganzheitlich untersuchen. Ohne umfassende Informationen über den Einfluss von Umweltfaktoren ist es jedoch nicht möglich, Veränderungen der Abundanz und der Ausbreitung von Zecken und zeckenübertragenen Erregern richtig darzustellen und zu verstehen. Gleiches gilt für die Entwicklung und Einführung geeigneter Präventions- und Kontrollstrategien.

2. Projektziel

Das vorrangige Ziel des Projekts ist es, die komplexen Interaktionen zwischen Zecken, ihren Wirten und den durch sie übertragenen Pathogenen im Rahmen einer räumlich und zeitlich variablen Umwelt zu verstehen. Auf folgende Punkte soll hierbei besonders eingegangen werden:

- Analyse des großflächigen Verbreitungsmusters von Zecken in Baden-Württemberg unter Berücksichtigung von Habitateigenschaften und Bestandsklima
- Detaillierte, lokale Langzeitstudien über Zecken und ihre Kleinsäugerwirte zur Erhebung der saisonalen und jährlichen Schwankungen der Zeckenaktivität und Pathogenabundanz bzw. -prävalenz in Abhängigkeit von Mikroklima, Habitatstruktur und Wirtspopulationen
- Untersuchungen zum Auftreten und der Dynamik der wichtigsten humanpathogenen, zeckenübertragenen Erreger (*Borrelia burgdorferi* sensu lato, FSME-Virus, *Rickettsia* spp., *Candidatus Neoehrlichia mikurensis*) in Habitaten Baden-Württembergs in Abhängigkeit von Habitatstruktur, Bestandsklima und Wirtspopulationen
- Ganzheitliche Analyse der erhobenen Daten

3. Methodik und Arbeitsablauf

Die Studie ist in vier Module unterteilt, wobei sich die Module 1-3 mit der Datenerhebung und Einzelanalysen und Modul 4 mit der gemeinsamen Analyse aller Daten aus den Modulen 1-3 beschäftigen. Weitere Details zur Methodik und dem Arbeitsablauf wurden bereits in Petney et al.¹ beschrieben und können ebenfalls auf der Projekthomepage www.tick.kit.edu eingesehen werden. Abb. 1 zeigt die von uns untersuchten Standorte, unterteilt in Basis- (Modul 1) und Intensivstationen (Modul 2).

4. Durchgeführte Arbeiten im Berichtszeitraum und ausgewählte Ergebnisse

4.1 Modul 1 – großflächige Verteilung

Erhebungen 2014 und Datenaufbereitung:

Derzeit liegt für das Jahr 2014 der Bestandesklima-Datensatz bis Mitte Oktober vor. Die Stationsdatensätze sind weitgehend vollständig. Kurzzeitige Datenverluste traten an nur 6 Stationen auf. Für den Ersatz der Fehldaten 2013 wurden zunächst geeignete Prädiktor-Stationen aufgrund des besten Zusammenhangs mittels Pearson-Korrelationskoeffizient für jede Ziel-Station ermittelt. Über lineare Regressionsmodelle (Datengrundlage: Zeitraum 2013-2014) wurden anschließend Werte auf Tagesmittelbasis für die Parameter Luft₁- und Boden₂temperatur, sowie relative Luftfeuchte₃ berechnet (₁₊₂R²: 0,963 – 0,997; ₃R²: 0,646 – 0,847).

¹ Petney T, Pfäffle M, Norra S, Oehme R, Steidle J, Littwin N, Böhnke D, Hogewind F, Sebastian P, Kahl O, Gebhard R, Dautel H (2013), Untersuchung der Ökologie von Zecken als Überträger von Krankheitserregern in Baden-Württemberg in Bezug auf Habitat, Landnutzung, Wirtstiere und Klima. Zwischenbericht zum Statuskolloquium Umweltforschung Baden-Württemberg 2013, <http://www.fachdokumente.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/108062/?COMMAND=DisplayBericht&FIS=203&OBJECT=108062&MODE=METADATA>

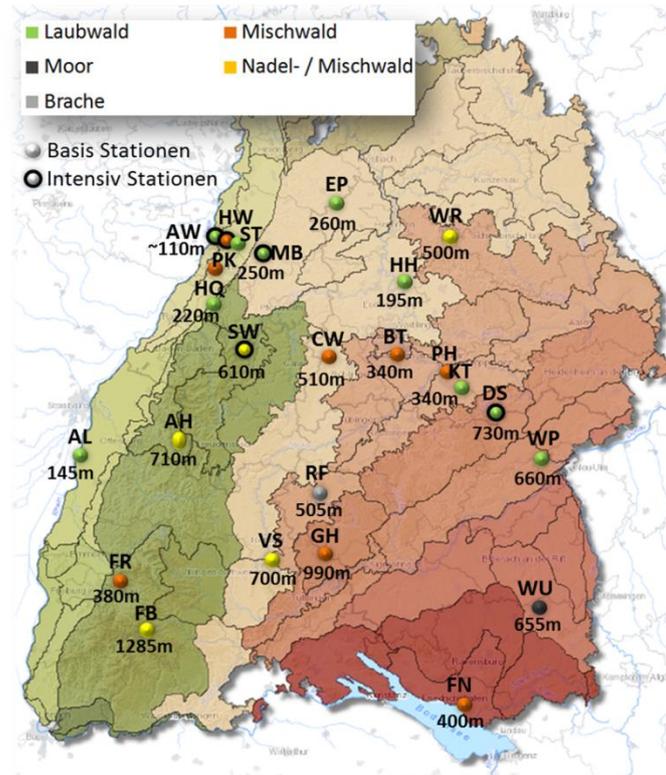


Abb. 1: Übersicht der Stationen des ZUP-Projektes in Baden-Württemberg mit Höhenangabe [müNN]; Kartenquelle: LUBW, Karte der naturräumlichen Gliederung; verändert.

Das Sammeln der Zecken erfolgte wie in Petney et al.² beschrieben. Zum Vergleich der Standorte hinsichtlich der Populationsdichte oder saisonalen Aktivität von *Ixodes ricinus* werden ausschließlich Nymphen berücksichtigt, da diese am häufigsten und gleichmäßigsten auftreten und die größte Bedeutung für die Übertragung von Pathogenen auf den Menschen haben. Zum Vergleich der Zeckenpopulationen verschiedener Sammeljahre wird die Anzahl gefundener Nymphen pro Jahr auf 100m² normiert (Nymphen/100m² je Jahr), was im Folgenden als „Nymphendichte“ beschrieben wird.

Vergleich der Jahre 2013 und 2014 – Witterung und Zeckenaktivität:

Der Witterungsverlauf über die Zeckensaison unterscheidet sich in den beiden Jahren stark. Die erste Wärmephase trat 2013 erst Mitte April auf, entsprechend spät begann der Frühling (Vollfrühling bzw. Eintritt der Apfelblüte: 2.5.), im März wurden vielerorts noch starke Frostereignisse und Schneefall registriert. Der Mai 2013 war insgesamt eher kühl und verregnet. Die Nymphen traten an den meisten Standorten entsprechend erst mit Beginn der Wärmeperiode im April in höherer Anzahl auf (Abb. 2 und 4). Im Jahr 2014 hingegen wurde bereits am 7.4. der Beginn der Apfelblüte verzeichnet, der früheste Vollfrühlingseintritt seit über 20 Jahren. Entsprechend konnten auch schon im März zum Teil hohe Zeckenzahlen festgestellt werden. Der Sommer 2013 war insgesamt warm, sonnenreich und eher trocken, mit örtlich teils unwitterartigen Regenereignissen, die über den ganzen Sommer hinweg gehäuft auftraten. Auch im Jahr 2014 startete der Sommer trocken und warm, ebenfalls mit örtlichen Starkniederschlagsereignissen, zeigte sich dann aber im Gegensatz zu 2013 gerade im Juli und August nass und teilweise sonnenscheinarm. Der verfrühte und recht trockene Frühling im Jahr 2014 hat an den meisten Standorten zu einer sehr frühen Aktivität der Zecken mit hohen Nymphenzahlen im März/April geführt.

² Petney et al. (2013), Ökologie von Zecken

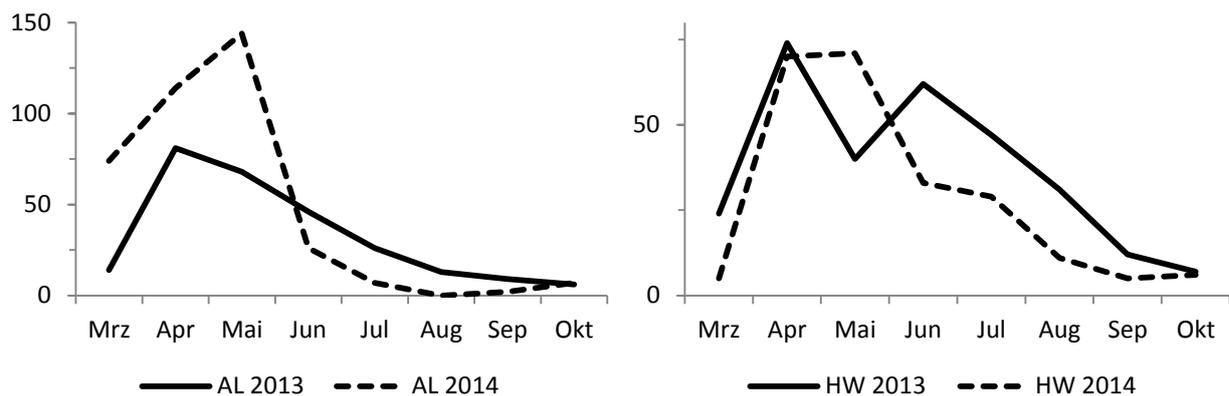


Abb. 1: Zeckenaktivität (Anzahl Nymphen/100m² je Monat) der Jahre 2013 und 2014 im Vergleich; hier am Beispiel eines Auwaldstandortes und eines Standortes im Hartwald (HW) dargestellt; an den meisten Standorten war im Jahr 2014 der Einbruch der Zeckenzahlen nach dem ersten Aktivitätspeak stärker ausgeprägt als in 2013.

In höheren Lagen trat der 1. Aktivitätspeak oft später ein - eine temperaturabhängige Zeitverschiebung wie sie z.B. auch aus der Schweiz bekannt ist³. Zum Sommer und Herbst hin folgte ein konstanter Einbruch der Zahlen im Jahr 2014, so dass an vielen Standorten deutlich weniger Nymphen aktiv waren als zur gleichen Zeit 2013 (s. Abb. 2). Dies ist bemerkenswert, da es im Sommer 2014 eher nass-kühl war, und damit nicht die sommerliche Trockenheit zum Rückgang der Zeckenaktivität geführt haben kann. Zudem zeigte sich eine weitere, deutliche Abweichung zu bisherigen Erkenntnissen. Bisher wurde für Mitteleuropa ein tendenziell bimodales Aktivitätsmuster der Nymphenaktivität postuliert, mit hohen Nymphenzahlen in Frühjahr und Herbst⁴. Im Jahr 2013 trat jedoch nur an zwei, im Jahr 2014 nur an vier der 25 Standorte ein markanter Herbstpeak auf. An einigen Standorten trat hingegen bereits im Hochsommer (Juli/August) ein weiterer Peak ein und dies nicht nur an höher gelegenen Standorten, bei denen dies über eine temperaturbedingte längere Entwicklungsdauer für die Zecken erklärbar wäre. Die bisherigen Erkenntnisse scheinen daher für unsere Region nicht ohne Weiteres übertragbar zu sein. Unsere Untersuchungen zeigen eine hohe Varianz der saisonalen Nymphenaktivität - nicht nur zwischen den Jahren, sondern auch an (u.a. sehr nahe gelegenen) Standorten. Hier sind daher dringend weitere Untersuchungen bezüglich der Zecken-Aktivitätszyklen, insbesondere der Nymphen, für unsere Region nötig, um zukünftig zuverlässige Prognosen zum Auftreten hoher Zeckenzahlen für einzelne Gebiete erstellen zu können.

Zeckendichte im Jahr 2014 im Vergleich zu 2013:

Die Populationsdichten von *Ixodes ricinus* zeigen hohe Varianzen zwischen den einzelnen Standorten. Der Trend geht dabei zu niedrigeren Zeckendichten mit zunehmender Höhe bzw. abnehmender Jahresmitteltemperatur (siehe auch³). Allerdings zeigen sich auch starke Unterschiede zwischen Standorten ähnlicher Höhenlage (z.B. BT und KT oder AL und HH; siehe Abb. 3). Diese Unterschiede müssen multikriteriell betrachtet werden. Nach unseren bisherigen Erkenntnissen sind die wichtigsten Einflussgrößen hier das Habitat bzw. die Vegetationscharakteristika und lokales (Mikro-)Klima (siehe auch^{5,6}). Die Rolle der Wirtstiere wird in Modul 2 näher beschrieben. Höhere

³ Jouda F, Perret J, Gern L (2004), *Ixodes ricinus* Density, and Distribution and Prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato Infection Along an Altitudinal Gradient. *Journal of Medical Entomology* 2: 162-169.

⁴ Kurtenbach K, Hanincova K, Taso JI, Margos G, Fish D, Ogden NH (2006), Fundamental processes in the evolutionary ecology of Lyme borreliosis. *Nature Reviews Microbiology* 4: 660-669.

⁵ Boyard C, Barnouin J, Bord S, Gasqui P, Vourc'h G (2011), Reproducibility of local environmental factors for the abundance of questing *Ixodes ricinus* nymphs on pastures. *Ticks and Tick-borne Diseases* 2: 104-110.

Zeckendichten als im Vorjahr wurden 2014 vor allem in Hochlagen ab 600 m ü NN erreicht. In den Nadelwäldern bzw. nadelreichen Mischwäldern des Schwarzwaldes (SW) und angrenzender Bereiche der Baar (VS) traten 2014 deutlich mehr Nymphen als im Jahr 2013 auf (um den Faktor 3 bzw. 4 erhöht, siehe Abb. 3). Extrem war der Anstieg im Moor Bad Wurzach, wo im Jahr 2013 nur eine Nymphe, im Jahr 2014 hingegen 39 Nymphen gesammelt wurden. In niederen Lagen wurden nur an einem Auwaldstandort bei Altenheim (AL) 2014 mehr Nymphen gefunden als 2013 (Faktor 1,4). Möglicherweise sind die günstigen thermischen Bedingungen des Frühjahrs 2014 verantwortlich dafür.

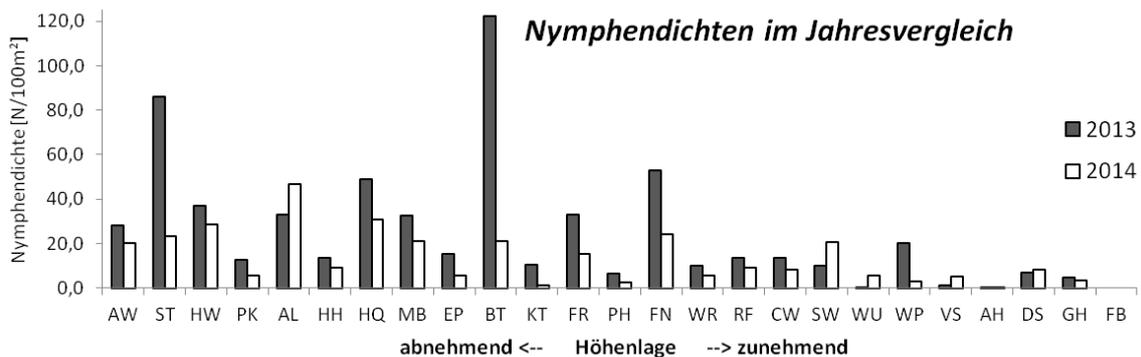
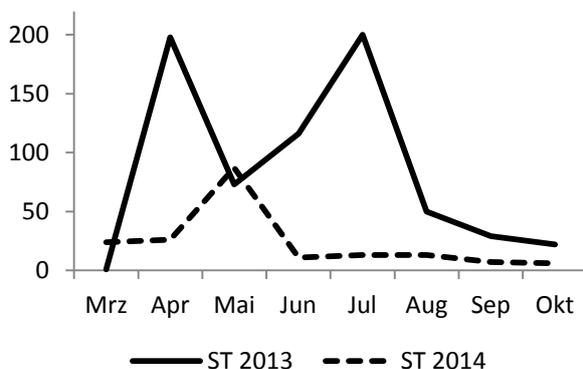


Abb. 3: Durchschnittliche Nymphendichte pro 100m² in den Jahren 2013 (dunkelgrau) und 2014 (weiß). An allen anderen 19 Standorten traten im Jahr 2014 meist deutlich weniger Nymphen als im Vorjahr auf (Abb. 3). Den stärksten Rückgang verzeichnete ein Standort im Naherholungsgebiet nahe Kirchheim Teck (KT) an den Bürgerseen, bei dem die Gesamtzahl an Nymphen von 98 in 2013 auf 7 in 2014 sank. An den vier nymphenreichsten Standorten in 2013 – direkt bei Stuttgart Botnang (BT: 857 Nymphen), einem Feuchtwald im Oberrheingraben (ST: 689, Abb. 4), einem Naherholungsgebiet bei



Friedrichshafen (FN: 369) und einem Schluchtwald bei Ettlingen mit nahe gelegenen, öffentlichen Grillplatz (HQ: 341) brachen die Zahlen im Jahr 2014 beträchtlich ein, meist auf weniger als die Hälfte (BT: 147; ST: 187, FN: 170; HQ: 245). Möglicherweise hat eine hohe Fruchtausbildung der Waldbäume in 2011 (Quelle: Waldzustandsbericht 2011, FVA) zu hohen Kleinsäugerzahlen in 2011 und 2012 geführt, den Hauptwirten der Larven,

Abb. 4: Zeckenaktivität (Anzahl Nymphen/100 m²) der Jahre 2013 und 2014 im Feuchtwald bei Staffort.

und entsprechend zu hohen Nymphendichten im Folgejahr 2013. Bekannt sind solche Mechanismen aus Nordamerika⁷. Die bisherigen Ergebnisse aus Modul 2 lassen auch andere Schlussfolgerungen zu, die allerdings nur durch weitere Untersuchungsjahre bestätigt oder revidiert werden können. So könnte sich zusätzlich die hohe Feuchteverfügbarkeit an den Standorten ST, FN und HQ positiv auf

⁶ Gardiner W, Gettinby G, Gray J (1981), Models based on weather for the development phases of the sheep tick, ixodes ricinus L. Veterinary Parasitology 1: 75–86.

⁷ Ostfeld RS, Schaubert EM, Canham CD, Keesing F, Jones CG, Wolff JO (2001), Effects of acorn production and mouse abundance on abundance and *Borrelia burgdorferi* infection prevalence of nymphal *Ixodes scapularis* ticks. Vector-borne and Zoonotic Diseases 1: 55-63.

die Überlebensrate der Zecken gewirkt haben, wodurch es zu den hohen Zeckendichten in 2013 kam. Genauere Untersuchungen wären hier in Zukunft nötig, um diese wichtigen Detailfragen zu klären.

4.2 Modul 2 – detaillierte Langzeitstudien

Populationsdynamik von Kleinsäugetern:

In diesem Projektbaustein wurde untersucht, inwiefern Umweltfaktoren wie Bestandsklima, Habitatstruktur und die Dynamik von Wirtstierpopulationen die Aktivität und das Vorkommen von Zecken und das Auftreten der von ihnen übertragenen Krankheitserreger beeinflussen. Die Methodik wurde bereits in Petney et al.⁸ beschrieben. Die beiden dominantesten Kleinsäugerarten in allen drei Untersuchungsjahren und allen vier Standorten waren die Gelbhalsmaus *Apodemus flavicollis* und die Rötelmaus *Myodes glareolus*. Beide Arten sind in Europa weit verbreitet, gehören zu den häufigsten Waldsäugetieren und teilen sich geeignete Habitate⁹. Außerdem gelten sie als wichtige Reservoirwirte für eine große Anzahl von zeckenübertragenen Erregern¹⁰. Neben den beiden genannten Arten konnten auch weitere Kleinsäugerarten, darunter die Waldspitzmaus (*Sorex araneus*), die Zwergspitzmaus (*Sorex minutus*), die Waldmaus (*Apodemus sylvaticus*) und die Erdmaus (*Microtus agrestis*) gefangen werden. Allerdings waren die Anzahl der Fänge dieser Arten in allen Untersuchungsjahren zu gering, um ihren potenziellen Einfluss auf Zecken oder zeckenübertragene Pathogene zu bestimmen.

Die Populationsdynamik der Kleinsäuger weist starke Schwankungen zwischen den Jahren und den Habitaten auf und zeigt in allen Habitaten eine geringere Populationsdichte am Anfang des Jahres (Abb. 5). Im Jahr 2013 erholten sich die Kleinsäugerpopulationen an drei (HW, SW, MB) von vier Standorten nach den Wintermonaten nur langsam, erreichten aber nie das Niveau von 2012. Während sich in 2014 die Kleinsäugerpopulationen an fast allen Standorten wieder erholten und sogar höhere Populationsdichten zeigten als im Jahr 2012, blieb die Populationsdichte der Kleinsäuger am Standort SW auf dem gleichen Level wie in 2013 (Abb. 5). Solche saisonalen Variationen in der Kleinsäugerdichte sind charakteristisch, und Populationsrückgänge während der kalten Wintermonate hängen sowohl von dichteabhängigen (mehr Individuen konkurrieren um weniger Nahrungsressourcen) als auch von dichteunabhängigen Faktoren (Klima) ab¹¹. Im Allgemeinen wird solch ein Rückgang sowohl durch die Länge als auch die Härte der Winterperiode beschleunigt, da es zu einer Nahrungsknappheit und einer erhöhten Prädation durch Raubtiere kommt¹². Die Kälteperiode 2012/2013 war vergleichsweise lang mit einem ausgesprochen kalten Frühjahr mit Durchschnittstemperaturen im März 2013 von 0,8°C (März 2012: 8,6°C, März 2014: 8,7°C) (Deutscher Wetterdienst, Station Rheinstetten). Zusätzlich war das Jahr 2012 kein Mastjahr (z.B. Rotbuche 14%, Gemeine Kiefer 35%, Stieleiche 16%, Forstamt Karlsruhe) was zu einer Nahrungsknappheit und daraus folgend ebenfalls zu einer erhöhten Wintermortalität geführt haben kann. Nahrungskonkurrenten und Prädatoren, wie Schwarzwild (*Sus scrofa*) können ebenfalls einen Einfluss auf die Populationsdichten von Kleinsäugetern haben. Focardi et al.¹³ haben z.B. festgestellt, dass Wildschweine aktiv die Vorratskammern von Mäusen suchen und plündern, was in Jahren mit reduziertem Nahrungsangebot zu erhöhten Sterblichkeitsraten unter Kleinsäugetern führen kann.

⁸ Petney et al. (2013), Ökologie von Zecken

⁹ Suchomel J, Purchart L, Cepelka L, Heroldova M (2014), Structure and diversity of small mammal communities of mountain forests in Western Carpathians. European Journal of Forest Research, doi 10.1007/s10342-013-0778-y.

¹⁰ Mihalca F, Sandor AD (2013), The role of rodents in the ecology of *Ixodes ricinus* and associated pathogens in Central and Eastern Europe, Frontiers in Cellular and Infection Microbiology 3:56, doi: 10.3389/fcimb.2013.00056.

¹¹ Solonen T (2006), Overwinter population change of small mammals in southern Finland. Annales Zoologici Fennici 43: 295-302.

¹² Wenk M (2007), Mäuse. Waldschutz-Merkblatt Nr. 53, Landesforstanstalt Eberswalde

¹³ Focardi S, Capizzi D, Monetti D (2000), Competition for acorns among wild boar (*Sus scrofa*) and small mammals in a Mediterranean woodland. Journal of Zoology London 250: 329-334.

Zecken auf Kleinsäugetern:

In den drei Untersuchungsjahren wurden an allen Standorten zusammengefasst insgesamt 18.937 Zecken von Kleinsäugetern abgesammelt. Davon waren 94,2% (17.831) *I. ricinus* (Larven: 92,6%, Nymphen: 1,6%). In geringeren Mengen wurden die Auwaldzecke *Dermacentor reticulatus* (N = 967, 5,1%; HW N = 862, 4,5%), *Ixodes acuminatus* (N = 50, 0,3%) und *Ixodes trianguliceps* (N = 78, 0,4%) auf den Kleinsäugetern gefunden. Da Larven von *I. ricinus* den Hauptteil aller Zecken ausmachen, beziehen sich folgende Ergebnisse und Schlussfolgerungen nur auf diese.

Genauso wie die Kleinsäugeterpopulationen unterliegt die Zeckenabundanz (mittlere Anzahl von Zecken) auf den Kleinsäugetern saisonalen Schwankungen und weist Unterschiede zwischen den Jahren und den Standorten auf (Abb. 5). Die Schwankungen ergeben sich durch den natürlichen Entwicklungszyklus von *I. ricinus*. In Mitteleuropa können Larven ein unimodales oder bimodales jährliches Aktivitätsmuster aufzeigen¹⁴. Dies konnte auch an den von uns untersuchten Habitaten festgestellt werden. Allerdings unterscheiden sich die Aktivitätsmuster an den verschiedenen Standorten, obwohl diese nur wenige Kilometer voneinander entfernt sind (10-58 km). In AW konnten in allen drei Jahren ein bimodales Aktivitätsmuster der Larven beobachtet werden.

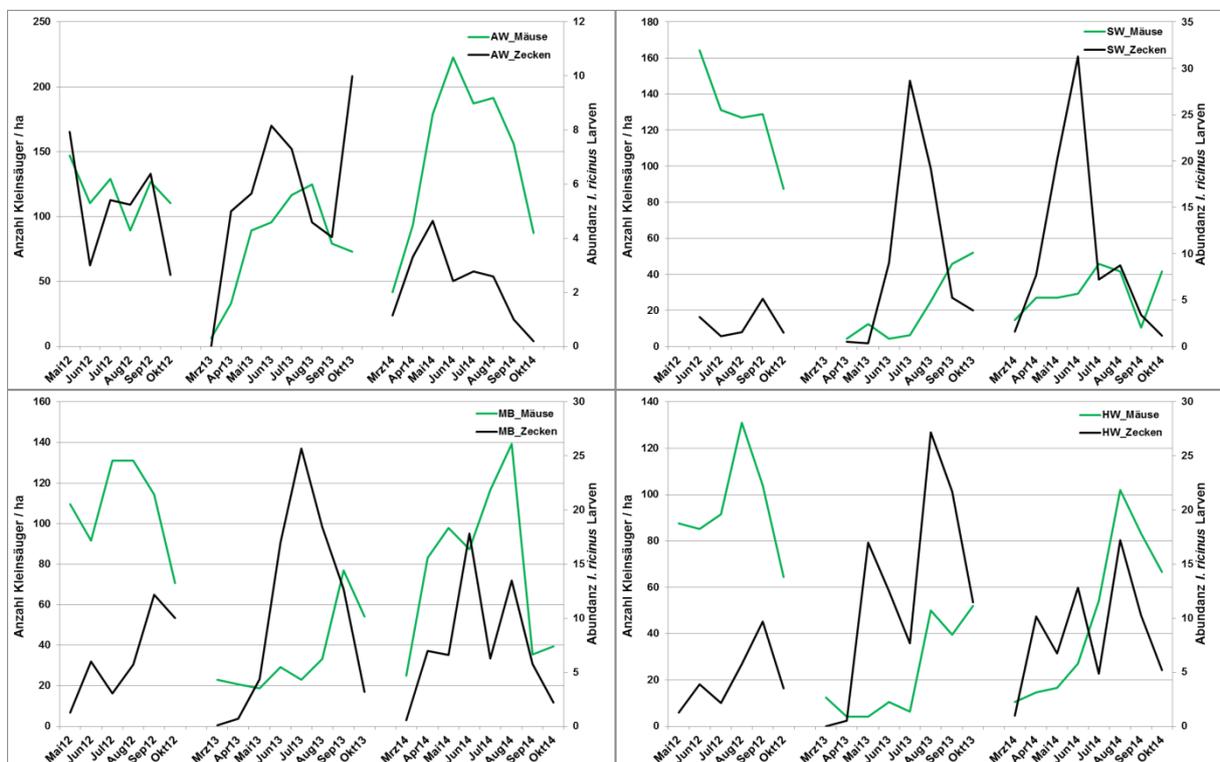


Abb. 5: Relative Populationsdichte der Kleinsäuger und mittlere Abundanz von *Ixodes ricinus* Larven auf Kleinsäugetern im Untersuchungszeitraum Mai 2012 – Oktober 2014. AW = Auwald, SW = Schwarzwald, MB = Michaelsberg, HW = Hardtwald.

Am Standort SW war dies nur im Jahr 2012 der Fall, 2013 und 2014 zeigten die Larven ein unimodales Aktivitätsmuster. Am Standort MB war das Aktivitätsmuster 2012 und 2014 bimodal, im Jahr 2013 dagegen unimodal, während am Standort HW 2012 und 2013 ein bimodales Aktivitätsmuster und 2014 sogar drei Aktivitätsphasen zu erkennen sind. Dies zeigt deutlich, dass Unterschiede im Habitat und möglicherweise den daraus resultierenden Unterschieden im Mikroklima einen starken Einfluss auf die Wirtsuchaktivität von Zecken haben.

¹⁴ Kurtenbach et al. (2006), Fundamental processes in the evolutionary ecology of Lyme borreliosis

Allerdings lässt sich auch nach drei Jahren an keinem Standort ein durchgehendes Muster erkennen, was verdeutlicht, dass Langzeitstudien unerlässlich sind, um ökologische Mechanismen und Vorgänge zu erkennen, zu verstehen und vorherzusagen.

Auffällig ist, dass sich die Zeckenabundanz auf den Kleinsäugetern in einem Jahr umgekehrt verhält wie die Kleinsäugeterdichte in demselben Jahr. Bei hohen Kleinsäugeterdichten ist die Zeckenabundanz relativ niedrig, während sie in Jahren mit niedriger Kleinsäugeterdichte bis zu fünffach erhöht ist. Dadurch gerät die Hypothese von Ostfeld et al.¹⁵, dass Mastjahre zu erhöhten Kleinsäugeterdichten und somit zu mehr infizierten Zecken führen ins Wanken oder lässt sich zumindest nicht auf das hier untersuchte mitteleuropäische Zecken-Wirtssystem übertragen. An den von uns untersuchten Standorten scheint es vielmehr, dass bei einem vergleichbaren Vorkommen von Zeckenlarven durchschnittlich mehr Zecken auf einem Wirtsindividuum zu finden sind, wenn die Kleinsäugeterdichte niedrig ist. Daraus lässt sich folgern, dass die Kleinsäugeterdichte keinen Einfluss darauf hat, wie viele Larven einen Wirt finden. Daher ist es eher unwahrscheinlich, dass die Kleinsäugeterdichte in einem Jahr und Faktoren, die die Kleinsäugeterdichte beeinflussen (z.B. Mastjahr), überhaupt einen Einfluss auf die gesamte Nymphendichte im nächsten Jahr haben. Um diese Aussage zu unterstützen oder zu revidieren werden allerdings weitere Untersuchungsjahre benötigt. Wie in Ostfeld et al.¹⁶ beschrieben, ergibt sich aufgrund erster Analysen, dass die Kleinsäugeterdichte nur einen Einfluss auf die Dichte infizierter Nymphen in einem Habitat hat. Allerdings deuten unsere Ergebnisse darauf hin, dass geringere Kleinsäugeterdichten zu höheren Dichten infizierter Nymphen führen. So gibt es eine signifikant positive Korrelation zwischen der Prävalenz von *Borrelia burgdorferi* s.l. in den von Kleinsäugetern abgesammelten teilgesogenen Zeckenlarven und der individuellen Zeckenbelastung. "Infizierte" Kleinsäugeter weisen hierbei einen um das vier- bis sechsfach erhöhten *I. ricinus*-Befall auf¹⁷. Dies wird auch durch eine Studie von Rosà & Pugliese¹⁸ unterstützt. Sie geben an, dass es zu einem sogenannten Verdünnungseffekt bei potentiell kompetenten Pathogen-Reservoirwirten kommen kann. Das bedeutet, dass eine hohe Dichte ankompetenten -Wirten in einem Gebiet, wie z.B. den Kleinsäugeterspezies *A. flavicollis* und *M. glareolus*, zu niedrigen durchschnittlichen Befallsraten der Individuen mit Zecken führen kann, was wiederum mit verringerten Dichten an infizierten Zecken in solchen Gebieten einhergeht. Somit würden eine geringere Kleinsäugeterdichte und die damit verbundene stärkere Aggregation von Larven auf den Wirten in einem Jahr die Dichte von infizierten Nymphen und damit das Risiko für den Menschen im folgenden Jahr erhöhen. Neben der Kleinsäugeterdichte haben zudem auch die Zusammensetzung einer Kleinsäugetergemeinschaft und die Reservoirkompetenzen der verschiedenen Wirtsarten, das heißt die Rolle die sie in Bezug auf die Persistenz und Transmission eines bestimmten Pathogens im epidemiologischen Kreislauf einnehmen, einen Einfluss auf die Dichte von (i) Zecken und (ii) infizierten Zecken. Eine Studie aus Polen¹⁹ zeigte, dass Gelbhalsmäuse häufiger mit *I. ricinus* befallen sind als Rötelmäuse und dass diese Zecken häufiger mit *B. burgdorferi* s.l. infiziert waren. Dies wird von den in diesem Projekt aufgenommenen Daten ebenfalls bestätigt. So waren an allen Standorten und in allen Jahren Gelbhalsmäuse stärker mit *I. ricinus* Larven befallen als Rötelmäuse ($p \leq 0,001$). Nur am Standort SW in 2013 konnten keine signifikanten Unterschiede in den Befallsraten der unterschiedlichen Mäusearten festgestellt werden ($p = 0,354$). Allerdings war hier der

¹⁵ Ostfeld RS, Schaub EM, Canham CD, Keesing F, Jones CG, Wolff JO (2001), Effects of acorn production and mouse abundance on abundance and *Borrelia burgdorferi* infection prevalence of nymphal *Ixodes scapularis* ticks. *Vector-borne and Zoonotic Diseases* 1: 55-63.

¹⁶ Ostfeld et al. (2001), Acorns, mice and ticks

¹⁷ Petney et al. (2014), Ökologie von Zecken

¹⁸ Rosa R, Pugliese A (2007), Effects of tick population dynamics and host densities on the persistence of tick-borne infections. *Mathematical Biosciences* 208: 216-240.

¹⁹ Sinski E, Pawelczyk A, Bajer A, Behnke JM (2006), Abundance of wild rodents, ticks and environmental risk of Lyme borreliosis: a longitudinal study in an area of Mazury lakes district of Poland. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 13:295-300.

Stichprobenumfang sehr gering, was das Ergebnis relativiert. *M. glareolus* ist in der Lage eine Resistenz gegen *I. ricinus* zu erwerben, die sich beispielsweise in reduziertem Saugerfolg und Gewicht und verringerter Überlebensrate der Zecken ausdrückt²⁰. *A. flavicollis* ist dagegen nicht in der Lage eine Resistenz gegen *I. ricinus* aufzubauen. Die in unserem Projekt erhaltenen Daten unterstützen diese Ergebnisse. Zudem können mit *Borrelia burgdorferi* s.l. infizierte *A. flavicollis* ein Leben lang (bis zu 40 Monate) infektiös bleiben und ein wiederholter Befall mit uninfizierten Larven von *I. ricinus* kann zudem die Übertragung von Borrelien dieses Genospezieskomplexes vom Wirt auf die Zecke unterstützen²¹. Dadurch lässt sich die Hypothese formulieren, dass an Standorten mit im Vergleich zu Rötelmäusen erhöhtem Gelbhalsmaus-Vorkommen, das Infektionsrisiko für den Menschen potenziell erhöht ist.

4.3 Modul 3 – Pathogenuntersuchungen

Anders als in 2012 und 2013 werden in Modul 3 für 2014 zunächst nur die von Kleinsäugern abgesammelten Zecken auf zeckenübertragene Erreger untersucht. Untersucht werden dabei insgesamt 550 Proben von den Standorten Auwald (AW), Hardtwald (HW), Michaelsber (MB) und Schwarzwald (SW). Hierbei handelt es sich um 400 Larvenpools und 150 Nymphen die von Kleinsäugern abgesammelt wurden. Im Gegensatz zu den Vorjahren werden die 2014 abgesammelten Zecken nicht mehr in verschiedene Saugstadien unterteilt. Erste Auswertungen der Daten aus den beiden Vorjahren haben bereits gezeigt, dass das mit zunehmendem Saugstadium, also zunehmender Saugdauer der Zecke am Wirt, das Infektionsrisiko der Zecke steigt. Aufgrund dieser bereits etablierten Erkenntnis wurde aus Kostengründen auf eine Wiederholung des Ansatzes zur Ergebnisbestätigung verzichtet. So wurden die Zecken ausschließlich nach der Art und dem Entwicklungsstadiums der Zecke, sowie der Wirtsspezies sortiert. Die Aufarbeitung der Proben und der molekularbiologische Nachweis von Pathogenen erfolgt analog den Vorjahren²². Alle Proben werden auf das Vorhandensein von *Borrelia burgdorferi* s.l. und *Rickettsia* spp. untersucht. Zum jetzigen Zeitpunkt liegen jedoch leider noch keine Ergebnisse vor.

Candidatus Neoehrlichia mikurensis

Ergebnisse der Pathogen-Untersuchungen von 2013 zeigten, dass das erst relativ kurz bekannte, intrazellulär lebende Bakterium – *Candidatus Neoehrlichia mikurensis* (CNM) – in teilweise sehr hohen Prävalenzen in Baden-Württemberg vorkommt²³. Ebenfalls spielt es eine große Rolle in der Wissenschaft^{24, 25}. Auch sind humane Krankheitsfälle bekannt, die durch die Infektion mit CNM hervorgerufen wurden.

Deshalb wurden dieses Jahr zusätzlich die 2012 gesammelte Zecken – im Rahmen einer Bachelor-Arbeit – auf die Verbreitung von CNM analysiert. Für den Nachweis des Erregers wurde eine von Silaghi et al.²⁶ entwickelte Methode modifiziert und am Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg etabliert. Aus Tabelle 1 geht hervor, dass teilweise große Unterschiede bei den Infektionsraten mit CNM an den verschiedenen Standorten vorlagen. Ebenfalls ist eine Heterogenität hinsichtlich der

²⁰ Wikel SK, Bergmann D (1997), Tick-host immunology: Significant advances and challenging opportunities. *Parasitology Today* 13: 383-389.

²¹ Gern L, Siegenthaler M, Hu CM, Leuba-Garcia S, Humair P-F, Moret J (1994). *Borrelia burgdorferi* in rodents (*Apodemus flavicollis* and *A. sylvaticus*): Duration and enhancement of infectivity for *Ixodes ricinus* ticks. *European Journal of Epidemiology* 10: 75-80.

²² Petney et al. (2013), *Ökologie von Zecken*

²³ Petney et al. (2014), *Ökologie von Zecken*

²⁴ Jahfari S, Fonville M, Hengeveld P, Reusken C, Scholte E-J, Takken W, Heyman P, Medlock JM, Heylen D, Kleve J, Sprong H (2012), Prevalence of *Neoehrlichia mikurensis* in ticks and rodents from North-west Europe. *Parasites & Vectors* 5:74

²⁵ Silaghi C, Woll D, Mahling M, Pfister K, Pfeffer M (2012), *Candidatus Neoehrlichia mikurensis* in rodents in an area with sympatric existence of the hard ticks *Ixodes ricinus* and *Dermacentor reticulatus*, Germany. *Parasites & Vectors* 5:285

²⁶ Silaghi et al. (2012), *Candidatus Neoehrlichia mikurensis* in rodents

Zeckendichte bei den Standorten zu beobachten. Insgesamt wurden 1309 Zecken von 2012 untersucht.

Die Ergebnisse der 2012 geflaggtten Zecken bezüglich deren Infektion mit *Candidatus Neoehrlichia mikurensis* sind in Tab. 1 zusammengefasst. Die durchschnittliche Prävalenz in Baden-Württemberg lag bei 12,48%. Vergleicht man diese Zahl mit dem Ergebnis der Untersuchung an den Intensivstandorten Auwald, Drakenstein, Hardtwald, Michaelsberg und Schwarzwald von 2012, liegt diese etwas höher als die 2013 beobachteten Werte von 6,06 bis 10,81% (siehe Petney et al. 2014²⁷). Höchstwerte wurde im Auwald und in Botnang ermittelt. Hier war fast jede dritte Zecke mit dem Erreger infiziert (Auwald 32,36%; Botnang 28,28%).

Standort	Jahr	Untersuchte Zecken	Prävalenz [%]
Allerheiligen	2012	4	0
Altenheim	2012	84	6,15
Auwald	2012	219	32,36
Botnang	2012	61	28,28
Calw	2012	16	0
Drakenstein	2012	36	11,39
Eppingen	2012	10	0
Friedrichshafen	2012	8	0
Gosheim	2012	19	0
Hardtwald	2012	220	4,62
Kirchheim	2012	26	14,42
Michelsberg	2012	237	6,19
Neckaraue	2012	50	28,00
Rosenfeld	2012	9	0
Rappenwört	2012	45	0
Staffort	2012	166	8,80
Schwarzwald	2012	36	11,39
Wippingen	2012	34	0
Wüstenrot	2012	29	28,45
Alle	2012	1309	12,48

Tab. 1: Ergebnisse der *Candidatus Neoehrlichia mikurensis*-Untersuchungen der 2012 geflaggtten Zecken

Es wurde eine große Anzahl an Zecken untersucht, so dass die Werte statistisch abgedeckt sind (219 bzw. 61). Ebenfalls 28,45% der Zecken am Standort Wüstenrot wurden positiv auf CNM getestet. Jedoch ist diese Zahl aufgrund der niedrigen Probenzahl nicht sehr aussagekräftig. An den Standorten Allerheiligen, Calw, Eppingen, Friedrichshafen, Gosheim, Rosenfeld, Rappenwört und Wippingen konnte der Erreger in keiner Zecke nachgewiesen werden. Jedoch ist auch hier die geringe Anzahl der untersuchten Zecken zu beachten. Vergleicht man die Prävalenzen an den fünf Intensivmessstationen so ergab sich folgendes Bild (siehe Tab. 2). Es ist zu beobachten, dass es keine einheitliche Tendenz zwischen den Jahren 2012 und 2013 gab. Während an den Standorten Auwald,

²⁷ Petney et al. (2014), Ökologie von Zecken

Drakenstein und Schwarzwald die Prävalenzen für CNM 2012 höher waren als 2013, verhält sich die Situation an den Standorten Hardtwald und Michaelsberg umgekehrt. Ebenfalls waren große Unterschiede zwischen den Stationen zu erkennen. Zusammenfassend ist zu sagen, dass CNM fast flächendeckend in Baden-Württemberg zu finden ist und aufgrund seiner nachgewiesenen Humanpathogenität auch ein gewisses Risiko für die Gesundheit des Menschen darstellt. Da sich die Ergebnisse der Jahre 2012 und 2013 jedoch stark unterscheiden, sind weitere Untersuchungen vonnöten um genauere Aussagen über das Vorkommen und die Prävalenzen dieses von Zecken übertragenen Erregers zu treffen.

Tab. 2: Ergebnisse der *Candidatus Neoehrlichia mikurensis*-Untersuchungen an den Intensivmessstationen

Standort	Jahr	untersuchte Zecken	Prävalenz [%]
Auwald	2012	219	32,36
	2013	226	19,30
Drakenstein	2012	36	11,39
	2013	33	0,00
Hardtwald	2012	220	4,62
	2013	296	23,58
Michaelsberg	2012	237	6,19
	2013	259	11,87
Schwarzwald	2012	36	11,39
	2012	67	0,00

4.3 Modul 4 – Gesamtanalyse

Großflächiges Verbreitungsmuster von Zecken innerhalb Baden-Württembergs unter Berücksichtigung von lokalem Klima:

Erste wichtige Grundlagen für eine Gesamtanalyse (Modul 4) konnten in diesem Jahr im Rahmen von Modul 1 geschaffen werden. Zum jetzigen Zeitpunkt kann bereits eine erste Dichtekarte von *I. ricinus* - Populationen in Baden-Württemberg erstellt werden, die es derart in Europa noch nicht gibt. In einer Kooperation mit der Arbeitsgruppe um Franz Rubel, der Veterinärmedizinischen Universität Wien, wurden in einem ersten Schritt mittels eines gemischt-linearen Modells (GLM) unter Zuhilfenahme von Klimarasterdaten des DWD die Nymphendichten auf einem 5x5 km Gitterraster mit einer erklärten Varianz von $R^2 = 0,52$ abgeschätzt (Abb. 6). Dieses Modell liefert zunächst eine Schätzung der regionalen Zeckendichte aufgrund von klimatischen Gegebenheiten. Da die Zeckendaten in Wäldern erhoben wurden, wird dieser Parameter in einem nächsten Schritt berücksichtigt. Geht die Waldart mit in das Modell ein, steigt die Performance auf $R^2 = 0,78$ (78%). Das Modell wird in den kommenden Monaten sukzessiv verfeinert, Eingangsdaten werden optimiert und eine Kreuzvalidierung für das Modell durchgeführt.

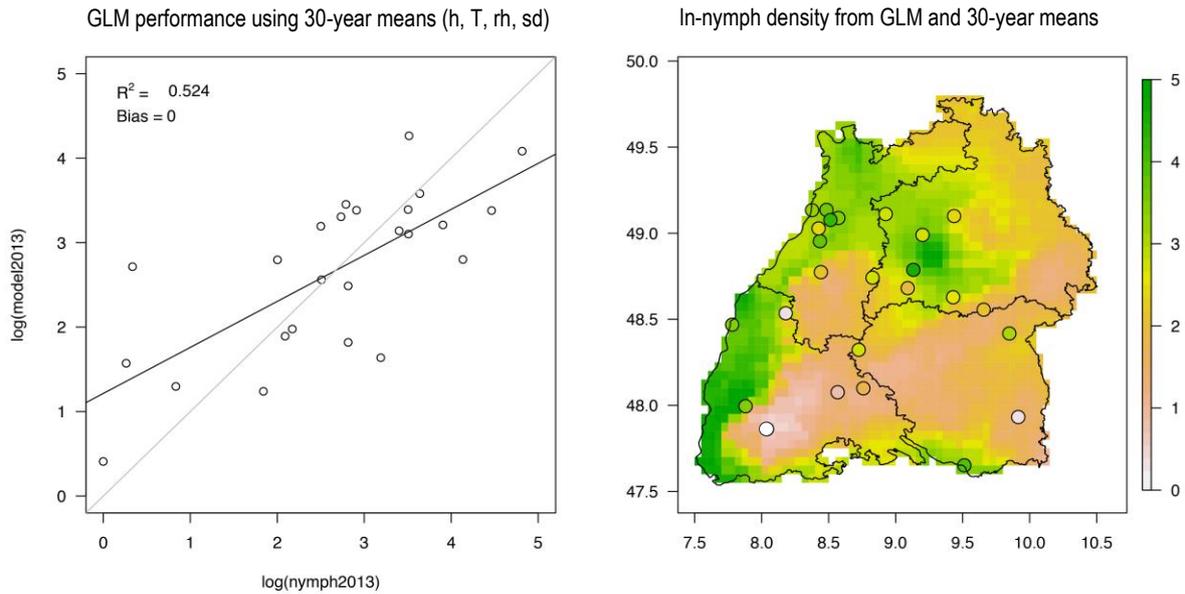


Abb. 6: Vorläufiges Ergebnis der Verbreitung von *Ixodes ricinus* Nymphen. Der Plot links stellt die modellierten und tatsächlichen, logarithmierten Nymphendichten gegenüber. Die Modellierung der Zeckendichte basiert auf 30-jährigen Mittelwerten (Lufttemperatur, relative Feuchte, Sättigungsdefizit) des DWD und der Höhenlage jeden Standorts. Die Karte rechts zeigt die modellierten In-Nymphendichten für Baden-Württemberg auf einem Raster von 5x5 km, die Punkte entsprechend die erhobenen In-Nymphendichten am Standort 2013 in entsprechender Farbgebung. Anmerkung: es wurde der natürliche Logarithmus verwendet.

5. Fazit

Unter Miteinbeziehung der wichtigsten abiotischen und biotischen Faktoren, die bekanntermaßen die Verbreitung, Aktivität und Entwicklung von *I. ricinus* beeinflussen, ist das von uns gestartete Projekt europaweit einzigartig in seinem Aufwand und seiner Detailgenauigkeit. Die von uns im Projektzeitraum erhobenen Daten gewähren uns einen tieferen Einblick in das komplexe System von Zecke, Wirt, Pathogen und Umwelt und lassen erste Rückschlüsse auf potentielle Mechanismen und Zusammenhänge zu. Nichtsdestotrotz sind die bisherigen drei Untersuchungsjahre nur ein Anfang, um die Ökologie von *I. ricinus* und die Ökoepidemiologie von den von ihr übertragenen Pathogenen vollständig zu verstehen. Weitere Untersuchungsjahre sind notwendig, um Muster erkennen und verstehen und um Zufall von Gesetzmäßigkeit unterscheiden zu können.