

3.2.12 Zur Biologie und Ökologie von Zecken und ihre Ausbreitung nach Norden

OLAF KAHL & HANS DAUTEL

Zur Biologie und Ökologie von Zecken und ihre Ausbreitung nach Norden: Zecken sind in den oft ausgedehnten Phasen zwischen den Blutmahlzeiten nicht selten mit ungünstigen Wetterbedingungen konfrontiert. Besondere Herausforderungen sind Trockenheit, vor allem im Verbund mit hohen Temperaturen, und anhaltend starker Frost. Auch wenn Zecken in ihren freilebenden Phasen in der Regel mikroklimatisch geschützte Orte aufsuchen (z.B. Laubstreu, Nester), stellt das Makroklima einen wichtigen limitierenden Faktor dar, was die geografische Verbreitung der verschiedenen Zeckenarten angeht. Die zu erwartende Erderwärmung dürfte diversen Zeckenarten eine weitere Ausbreitung nach Norden und auch in größere Höhen ermöglichen. Zudem könnte sich ihr saisonales Aktivitätsmuster ändern, was vor allem bei jenen Arten epidemiologisch bedeutsam wäre, die Pathogene auf Mensch und Tier übertragen.

Biology and ecology of ticks and shift of their distribution to the north: Ticks are used to be confronted with harsh macroclimatic conditions in their often extended non-parasitic phases between blood meals, long phases with deep sub-zero temperatures but also low relative humidities especially when combined with high temperature are critical challenges for tick physiology. Although ticks cope with these environmental extremes by seeking sheltered places (leaf litter, nests) usually with a moderated microclimate, macroclimate is a principal constraint limiting tick distribution. This can be effective directly or indirectly via host availability or via changes of vegetation. Climate warming may promote the encroachment of ticks to the north and to higher altitudes, and it may also cause regional changes in seasonal activity patterns of ticks which is epidemiologically relevant in those species transmitting pathogens.

Die innerhalb der Klasse der Spinnentiere (Arachnida) zu den Milben (Acari) gehörenden Zecken sind temporäre, obligatorische Ektoparasiten landlebender Wirbeltiere (Reptilien, Vögel, Säugetiere). Das heißt, sie verbringen meist kürzere Zeiten (Stunden, Tage), einige wenige Arten aber auch längere (Wochen, Monate) Lebensabschnitte auf ihren Wirten, um Nahrung vorwiegend in Form von Blut aufzunehmen. Dies prädestiniert sie wie andere hämatophage Arthropoden auch, in ihren Wirten befindliche Mikroorganismen (Viren, Bakterien, Protozoen) aufzunehmen und sie später auf andere Wirtsindividuen zu übertragen. Man spricht diesbezüglich von Vektoren oder Vektorzecken; jedoch sind nicht alle Zecken human- oder veterinärmedizinisch bedeutsam. Das wahrscheinlich prominenteste Beispiel in Europa ist der Gemeine Holzbock (*Ixodes ricinus*), der u.a. die bakteriellen Erreger der Lyme-Borreliose, *Borrelia burgdorferi* s.l., und das Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)-Virus überträgt (s. Kap. 3.2.13–15 in diesem Band).

Weltweit sind >850 Zeckenarten beschrieben, etwa drei Viertel davon gehören zu den Schildzecken (Familie Ixodidae), die übrigen zu den Lederzecken (Familie Argasidae). Im Vergleich zu anderen hämatophagen Arthropoden zeichnen sich insbesondere die Schildzecken durch ihre häufig sehr umfangreichen und lang dauernden Blutmahlzeiten aus. So steigert das Weibchen von *I. ricinus* seine Körpermasse während der 6–8 Tage dauernden Blutmahlzeit um das 100–200-Fache. Dagegen kommen die Nymphen und Adulten der Lederzecken schon innerhalb einer oder weniger

Stunden zur Sättigung. Während Schildzecken im Laufe ihres meist 1–4-jährigen Lebens 3 Blutmahlzeiten zu sich nehmen (je eine als Larve, Nymphe und adulte Zecke), kommen Lederzecken auf bis zu etwa 10 Blutmahlzeiten in u.U. mehr als 10 Jahren, da ihre Nymphen und Adulten mehrfach Blut saugen. Zwischen den Blutmahlzeiten liegen nicht selten Phasen von mehreren Monaten, während denen die Zecken zunächst ihre Blutmahlzeit verdauen und sich zum darauf folgenden Entwicklungsstadium entwickeln. Daran schließt sich eine mehrwöchige bis mehrmonatige – in einigen Fällen u.U. auch mehrjährige – Wartezeit an, bis ein neuer Wirt befallen wird. In der gesamten Zeit sind Zecken klimatischen Unbilden ausgesetzt.

In den kühl-gemäßigten Breiten stellen winterliche Kälte, aber auch Trockenheit in Verbindung mit hochsommerlichen Temperaturen besondere Anforderungen an die Physiologie von Zecken. Indem viele Zecken in ihren nichtparasitischen Phasen bevorzugt Verbergeorte aufsuchen (Laubstreu, Höhlen, Nester), nutzen sie zwar deren Pufferwirkung gegenüber Extremen von Luftfeuchte und Temperatur, das Klima ist aber trotzdem ohne Zweifel ein besonders wichtiger Umweltfaktor, der der Verbreitung vieler Zeckenarten Grenzen setzt. Vielfach dürfte der begrenzende Einfluss von Temperatur und Luftfeuchte auf das Vorkommen einer Zeckenart komplexer Natur sein, vor allem vor dem Hintergrund, dass auch die Vegetationszusammensetzung sowie die Verbreitung und Verfügbarkeit von Wirten von klimatischen Faktoren abhängen.

Neben einer Diskussion der offenbar temperatur-

bedingten Ausdehnung der Verbreitungsgrenze von Zecken nach Norden werden im Folgenden ausgewählte Beispiele angeführt, die zeigen sollen, in welcher Form klimatische Faktoren begrenzend oder auch fördernd auf die Verbreitung von Zecken wirken. Der gegenwärtige Kenntnisstand dazu ist allerdings noch bescheiden. Der Thematik kann man sich sowohl (i) durch den Nachweis des Vorrückens einer Zeckenart und der von ihr übertragenen Erkrankungen nähern (z.B. LINDGREN et al. 2000), als (ii) auch durch bioklimatologische Auswertungen, bei denen unsere Kenntnisse von den ökologischen und physiologischen Ansprüchen und Toleranzen einzelner Zeckenarten zu Szenarien nachgewiesener oder zu erwartender Klimaänderungen in Beziehung gesetzt werden (z.B. OGDEN et al. 2006). In diesem Abschnitt finden sich ausgewählte Beispiele aus den Schildzeckengattungen *Ixodes* und *Dermacentor* und der Lederzeckengattung *Argas*.

Änderung der Ausbreitung bei Zecken:

Fallbeispiele

Gemeiner Holzbock (*Ixodes ricinus*)

Der Gemeine Holzbock ist primär ein Wald- und Waldrandbewohner, kommt aber auch in natürlich bewirtschafteten Parks und Gärten vor und nutzt in seinen ausgedehnten nichtparasitischen Phasen hauptsächlich die bodenbedeckende Laubstreu als dauerfeuchtes Mikrohabitat. Während er in weiten Teilen Mitteleuropas die mit Abstand häufigste Zecke ist, sind im Norden nur Island, das nördliche Skandinavien und das nördliche Westrussland frei von ihm (GERN & HUMAIR 2002). Im Osten löst ihn die Taigazecke, *I. persulcatus*, ab. Im Süden seines Verbreitungsgebietes im Mittelmeerraum ist er in der Regel auf kühlere Bergregionen beschränkt. Nimmt man sein gesamtes Vorkommensgebiet, zeigt sich der Gemeine Holzbock in seiner saisonalen Aktivität als eine ausgesprochen flexible Spezies, die – obgleich normalerweise frühjahrs-, sommer- und herbstaktiv – in Nordafrika den dortigen Winter zur Wirtsuche nutzt.

Im mittleren Skandinavien, am Rande seiner nördlichen Verbreitungsgrenze, dringt der Gemeine Holzbock besonders an den wintermilden Küstenstreifen der Ostsee (Schweden, Finnland) relativ weit nach Norden vor. Bei EISEN (2007) findet sich eine Zusammenfassung neuerer Befunde über das Vorkommen von *I. ricinus* am nördlichen Rand seiner Verbreitung in Schweden. Leider mangelt es an exakten Daten aus früheren Jahren. TÄLLEKLINT & JAENSON (1998) befragten Hunde- und Katzenbesitzer in ganz Schweden. Danach nahm der Befall mit *I. ricinus* von den frühen

1980er- bis zu den frühen 1990er-Jahren auf breiter Front deutlich zu. Am stärksten war diese Tendenz in Zentralschweden. Es gab eine Reihe von Hinweisen auf ein Auftreten von *I. ricinus* in einigen Gebieten Zentralschwedens, in denen die Zecke zuvor unbekannt war. Positive Befunde reichten bis in die an der nordwestlichen Ostsee gelegene Provinz Norrbotten und bis nach Lappland im nördlichen Landesinnern. LINDGREN et al. (2000) kamen zu der Erkenntnis, dass das zunehmend nördliche Auftreten von *I. ricinus* seine Ursache in ungewöhnlich milden Wintern hatte. Insbesondere machten sie dafür eine über mehrere Winter verringerte Zahl an Tagen verantwortlich, an denen -12 °C unterschritten wurden. Weiter im Süden profitierte *I. ricinus* nach ihren Schlussfolgerungen sowohl von milderen Wintern als auch von einem früheren Frühlingsbeginn und einem verlängerten Herbst. Gleichzeitig nahm aber auch die Rehdichte zu, ein für *I. ricinus* nicht zu unterschätzender biotischer Faktor, da das Adultstadium nur mittelgroße und große Säuger parasitiert und das Reh ein bevorzugter Wirt ist.

Ein allmähliches Ausdehnen der Verbreitung nach Norden in den letzten 10–15 Jahren ist auch von *I. scapularis*, einem engen Verwandten von *I. ricinus*, im östlichen Nordamerika bekannt (Übersicht bei EISEN 2007).

Neben einer Verbreitungsgrenze im Norden existiert bei Zecken und anderen Tieren sowie Pflanzen auch eine obere Grenze der Höhenverbreitung. Gut belegt ist das klimabedingte Vordringen von *I. ricinus* in höhere Lagen im Riesengebirge in Tschechien. Von 1957 bis 1983 war die Zecke dort oberhalb von 800 m ü. NN nicht in der Lage, ihren Entwicklungszyklus zu vollenden und fand sich auch nicht auf Kleinsäugetern (DANIEL 1993; MATERNA et al. 2005). Nach einem Anstieg der Temperatur über viele Jahre hatte sie sich im selben Gebiet in einer Höhe bis zu 1.200 m ü. NN etabliert (ZEMAN & BENEŠ 2004; MATERNA et al. 2005).

Dass Temperatur auch für Zecken ein äußerst wirksamer Umweltfaktor ist und ihre Saisonalität auch kurzfristig maßgeblich beeinflussen kann, zeigt das Beispiel des extrem milden Winters 2006/7 ($> 4\text{ °C}$ über dem langjährigen Mittel), in dem aktive *I. ricinus*-Nymphen und -Adulte in Berliner Forstgebieten durchgehend anzutreffen waren (DAUTEL et al. 2008), während die Zeckenaktivität von November bis Februar/März normalerweise ruht. Im Falle künftig zunehmender Temperaturen dürfte die Aktivitätsperiode des Holzbocks im Frühjahr auch hier eher beginnen und im Herbst länger andauern. Wie unter diesen geänderten Bedingungen die Aktivität der einzelnen Entwicklungsstadien im Sommerhalbjahr sein wird, bleibt abzuwarten.

Ob ein Anstieg der Temperatur in Mitteleuropa

zu einer generellen Zunahme der Zeckendichte führt, dürfte kaum von den Wintertemperaturen abhängen. *I. ricinus* übersteht normale mitteleuropäische Winter an geeigneten Standorten gut. Bedeutsam ist, wie sich die Populationen seiner Hauptwirte, z.B. die des Rehwildes, und wie sich die Vegetationsdecke entwickelt. Hohe Temperaturen in Verbindung mit Trockenphasen dürften die Zeckendichte vor allem an suboptimalen Standorten negativ beeinflussen.

Dass es nicht immer erhöhte Temperatur sein muss, die die Verbreitung von Zecken fördert, zeigte sich in einem Berliner Stadtpark (O. Kahl u.a. unveröff.). Ende der 1970er-Jahre gab es in diesem Stadtpark keine Zecken. Etwas mehr als 10 Jahre später fanden sich dort auf zahlreichen Flächen Larven, Nymphen und Adulte von *I. ricinus*, die zum Teil sogar mit *Borrelia burgdorferi* s.l. (Erreger der Lyme-Borreliose) infiziert waren. Was hatte sich geändert? Während in den 1970er-Jahren im Herbst stets noch das Falllaub säuberlich entfernt wurde, hatte man sich in den 1980er-Jahren entschlossen, die Laubstreu im Bestand zu belassen. Mit der Existenz einer ganzjährig vorhandenen Laubstreu vor allem in Bereichen, in denen Buchen und Eichen wuchsen, deren Laub mehrere Jahre braucht, um zu verrotten, waren offenbar mikroklimatische Feuch-

tebedingungen geschaffen, die eine Ansiedlung von *I. ricinus* zuließen.

Auwaldzecke (*Dermacentor reticulatus*)

Die Auwaldzecke (Abb. 3.2.12-1) tritt in Europa vorwiegend in den mittleren Breiten und auf dem Balkan auf (IMMLER 1973; GILOT et al. 1989). Vorkommen aus Nordeuropa (Skandinavien, Estland, Lettland) sind nicht bekannt. Im kontinentalen Klima Osteuropas dringt die Auwaldzecke deutlich weiter nach Norden vor als in West- oder Zentraleuropa, was impliziert, dass es nicht die winterliche Kälte ist, die ihre Verbreitung nach Norden limitiert, sondern die Wärmesumme während der Vegetationsperiode. Dies sowie das im Folgenden Dargelegte gilt auch für die eher im Südwesten Deutschlands ansässige, eng verwandte Schafzecke, *D. marginatus*.

Formal entspricht der Entwicklungszyklus der Auwaldzecke dem des Gemeinen Holzbocks, allerdings unterscheidet sich das saisonale Auftreten der verschiedenen Entwicklungsstadien beider Spezies. Ei-, Larven- und Nymphenstadium der Auwaldzecke treten jahreszeitlich streng nacheinander auf. Beim Gemeinen Holzbock kommen sie hingegen in allen Jahreszeiten nebeneinander vor, auch wenn die Aktivität der Larven



Abb. 3.2.12-1: Ein adultes Weibchen der Schafzecke (*Dermacentor marginatus*).

im Frühjahr meist sogar mit einer gewissen Verzögerung beginnt.

Die Eiablage der Auwaldzecke findet stets im Frühjahr unabhängig davon statt, ob das gesogene Weibchen seine Blutmahlzeit im Herbst (meist Ende August bis November) oder im Frühjahr (Februar bis Mai, Beginn je nach Zeit der Schneeschmelze) aufgenommen hat. Es handelt sich um ein jahreszeitlich festgelegtes entwicklungsphysiologisches Ereignis (Seasonal Gating). Sowohl Larve als auch Nymphe sind im ungesogenen Zustand kurzlebig und entwickeln sich nach vollzogener Blutmahlzeit ohne programmierte Entwicklungsverzögerung (Diapause) direkt weiter zum darauf folgenden Entwicklungsstadium. Das heißt, auch die gesogene Nymphe entwickelt sich in aller Regel noch vor Ende der Vegetationsperiode zum Adultstadium, das dann für lange Zeit ohne Blutmahlzeit überleben und auch mehrfach überwintern kann.

Diese Form der Saisonalität bedingt, dass auf das Eistadium folgend die Larve jahreszeitlich stets vor der Nymphe auftritt und sich beide in ihrem Auftreten auch nur schwach überlappen. Demzufolge kann die Auwaldzecke nur der Hauptvektor von Erregern sein, die von der Zecke transovarial, d.h. vom gesogenen Weibchen auf die Nachkommenschaft übertragen werden – wie z.B. *Babesia canis canis*, der Erreger der sogenannten Hundemalaria. Beim Gemeinen Holzbock dagegen infizieren sich die Larven in der Regel an Wirten, die zuvor von infektiösen Nymphen parasitiert wurden, was bei *Dermacentor*-Zecken aus den o.g. Gründen kaum möglich ist. Um die Entwicklung von Eier legenden Weibchen bis zum ungesogenen Adultus möglichst in einer Vegetationsperiode zu vollziehen, ist eine ausreichende Temperatursumme notwendig. Insofern erscheint es logisch, dass zunehmende Temperaturen insbesondere von März bis Oktober ein Vordringen dieser Zecken nach Norden erlauben.

In der Tat haben die Nachweise von *D. reticulatus* im Osten Deutschlands, vornehmlich in Sachsen-Anhalt und im Land Brandenburg, nach Norden hin deutlich zugenommen (DAUTEL et al. 2006; BARUTZKI et al. 2007). Da ähnlich umfangreiche Studien in diesen Gebieten aus der Vergangenheit nicht vorliegen, bleibt allerdings ein gewisser Zweifel, ob es sich hierbei um ein zeitlich junges, ausschließlich temperaturbedingtes, wirkliches Vordringen nach Norden handelt. Möglich wäre auch, dass sich kleinere Reliktherde im Norden in der letzten Zeit wieder ausgebreitet haben. Außerdem dürfte die durch die Stilllegung von landwirtschaftlichen Nutzflächen bedingte Zunahme an Brachflächen die Ausbreitung der Zecke fördern, da sie auf sonnenexponierten Flächen mit lockerem Baum- und Buschbestand besonders häufig anzutreffen ist.

Künftigen Langzeituntersuchungen bleibt es vorbehalten, ein mögliches Vordringen der Auwaldzecke und auch der Schafzecke nach Norden zu verifizieren und die möglichen Ursachen dafür (Temperaturanstieg, Veränderungen der Landschaft) zu erforschen.

Europäische Taubenzecke (*Argas reflexus*)

Der Hauptwirt der Taubenzecke ist die Felsentaube (*Columbia livia*), die ihren europäischen Verbreitungsschwerpunkt im Mittelmeerraum hat. Die Felsentaube ist die Stammform der in den letzten Jahrhunderten weit nach Norden (bis 70° N) vorgedrungenen Haus- taube, und die Taubenzecke hat ihren Wirt in Richtung Norden in ein deutlich kühleres Makroklima offenbar ein ganzes Stück weit (bis 55° N) begleitet.

Ihre ausgeprägte Toleranz gegenüber extremen Temperaturen, ihre Adaptationsfähigkeit an ein breites Nahrungsspektrum sowie ihre hohe Reproduktionsleistung haben die Taube in den letzten 100 Jahren zu einem besonders erfolgreichen Kulturfolger gemacht.

Auf Dachböden (Spitzböden), ein besonders bevorzugter Nistplatz dieser Taube, herrschen im Winter oft ähnlich tiefe Temperaturen wie im Freien. Je nach Sonnenexposition und Witterung sind im Sommer allerdings auch Temperaturen von >40 °C möglich, gepaart mit ausgeprägter kleinklimatischer Trockenheit. Taubenzecken halten all diese Extreme aus. Mit Ausnahme des Eistadiums tolerieren sie kurzfristig Temperaturen bis unter –20 °C und überleben –10 °C für mehr als 2 Monate, womit sie sogar *I. ricinus* übertreffen (DAUTEL & KNÜLLE 1997b). Beeindruckend ist auch ihre Toleranz gegenüber hohen Temperaturen bei extremer Trockenheit. So überlebten hungrige Nymphen II bei konstant 30 °C und 33% relativer Feuchte im Mittel 246 Tage ohne Flüssigkeitsaufnahme (DAUTEL 1998). Grundlage dafür bilden eine extrem wasserdichte Körperhülle (Cuticula), eine wassersparende Form der Atmung und die Fähigkeit, den Stoffwechsel bei Bedarf, insbesondere bei tiefen oder hohen Temperaturen stark abzusenken. So treten gesogene Nymphen (Stadium I und II) bei 38 °C in eine sogenannte Quieszenz ein, einem Zustand verminderter metabolischer Aktivität, in dem die Entwicklung so lange verzögert wird, bis die äußeren Bedingungen wieder günstig sind. Im Labor überlebten solche Nymphen bei 38 °C 13 Monate ohne nennenswerte Mortalität und entwickelten sich anschließend bei 25 °C normal weiter. Dasselbe geschah bei einer »tiefen« Temperatur von 15 °C, bei der die Nymphen über 58 Monate im Zustand der Quieszenz verharrten und sich dann bei 25 °C normal weiterentwickelten (DAUTEL & KNÜLLE 1997a).

Was sind nun die entscheidenden Faktoren, die in ihrer Gesamtheit die Ausbreitung der Taubenzecke

bis ins nördliche Mitteleuropa ermöglicht haben, und warum tritt sie trotz ihrer ausgeprägten Kältehärtigkeit nicht wie ihr Wirt noch höher im Norden auf?

Auch in der mitteleuropäischen, stark vom Menschen geprägten Umgebung hat sich der Charakter des Nisthabitats des Hauptwirtes der Taubenzecke nicht extrem verändert. Die Zecken haben auf Dachböden in den Ritzen der Wände und den Spalten der Holzbalken ihren ethologischen Ansprüchen entsprechende Mikrohabitate gefunden, in denen sie die Monate zwischen den Blutmahlzeiten in Gruppen ganz in der Nähe ihrer nistenden Wirte verbringen können. Sie benötigen aber insbesondere für ihre Embryonalentwicklung ausreichend Wärme, d.h. eine höhere Temperatursumme als in Mitteleuropa im Freiland üblich (DAUTEL & KNÜLLE 1998). Da das Eistadium nicht kältehart ist und selbst bei +3 °C nach 34 Tagen schon 50% Mortalität erleidet, muss die Larve noch im Herbst schlüpfen, um den Winter zu überleben. Die dafür notwendigen Temperatursummen bieten offenbar viele mitteleuropäische Dachböden durch ihre ausgeprägte Sonnenexposition und die daraus resultierende Aufheizung. Nördlich 55° N scheint diese verbreitungskritische Voraussetzung im Allgemeinen nicht mehr gegeben zu sein. Die Taubenzecke nutzt also in Mitteleuropa die über weite Teile des Jahres stark wärmebegünstigten Nisthabitats ihres Wirtes für ihre Entwicklung. Die im Freiland üblichen sommerlichen mitteleuropäischen Temperaturbedingungen würden eine Ansiedlung der Taubenzecke derzeit dagegen nicht zulassen.

Ob eine weitere u.a. im Mittelmeerraum weit verbreitete, human- und tiermedizinisch bedeutsame Zecke, die Schildzecke *Rhipicephalus sanguineus* (Braune Hundezecke), bei zunehmenden Temperaturen in den nächsten Jahrzehnten den Sprung nach Mitteleuropa schafft, wird aufmerksam zu verfolgen sein.

Schlussbetrachtung

Neben dem Umweltfaktor Feuchte kommt vor allem der Temperatur besondere Bedeutung zu, wenn es um die Verbreitung von Zecken geht. Dies ist in besonderem Maße an der nördlichen Verbreitungsgrenze jeder Art der Fall, gilt aber in ähnlicher Weise für die Höhenverbreitung in Gebirgen. Ob der Faktor Temperatur direkt auf Zecken limitierend wirkt oder indirekt über die Verbreitung von Wirten und/oder bestimmten Pflanzen, ist in jedem Einzelfall zu untersuchen. Dazu gehört auch, dass bekannt sein sollte, welche minimale Temperatursumme eine Zeckenart während der Vegetationsperiode benötigt, um die für ihre Entwicklung notwendigen Schritte durchzuführen, und welche Entwicklungsphasen zur Überwinterung fähig sind. Es ist auch zu bestimmen, welche Winterkälte (Strenge, Dauer) die

betreffende Art noch tolerieren kann. Hierbei geht es um Ansprüche und Toleranzen, also hauptsächlich um physiologische Fragen.

Wenn höhere Temperaturen das Vorrücken von Zecken nach Norden begünstigen, stellt sich auch die Frage, ob sich nicht auch die südlichen Verbreitungsgrenzen von Zecken nach Norden verschieben. Auch dies mag künftig regional u.U. wichtige epidemiologische Konsequenzen haben. Um die aufgrund der langfristigen klimatologischen Vorhersagen zu erwartenden Änderungen in der Verbreitung epidemiologisch wichtiger Zecken dokumentieren zu können, ist es dringend geboten, ihre gegenwärtigen Verbreitungsgrenzen zu erfassen und ein Monitoring an ausgewählten (auch suboptimalen) Standorten einzuleiten. Das gilt in gleicher Weise für das jahreszeitliche Auftreten und die Dichte von Vektorzecken.

Literatur

- BARUTZKI, D., REULE, M., SCHEUNEMANN, R., HEILE, C. & E. SCHEIN (2007): Die Babesiose des Hundes – eine autochthone Erkrankung in Deutschland. Dtsch. Tierärztebl. 55, 284-293.
- DANIEL, M. (1993): Influence of the microclimate on the vertical distribution of the tick *Ixodes ricinus* (L.) in Central Europe. *Acarologia* 34, 105-113.
- DAUTEL, H. (1998): Water loss and metabolic water in starving *Argas reflexus* nymphs (Acari: Argasidae). *J. Insect Physiol.* 45, 55-63.
- DAUTEL, H. & W. KNÜLLE (1997a): The influence of physiological age of *Argas reflexus* larvae (Acari: Argasidae) and of temperature and photoperiod on induction and duration of diapause. *Oecologia* 113, 46-52.
- DAUTEL, H. & W. KNÜLLE (1997b): Cold hardiness, supercooling ability and causes of low-temperature mortality in the soft tick, *Argas reflexus*, and the hard tick, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodoidea). *J. Insect Physiol.* 43, 843-854.
- DAUTEL, H. & W. KNÜLLE (1998): Seasonal oviposition and temperature requirements of eggs may limit northern distribution of European *Argas reflexus* (Acari: Argasidae). *J. Med. Entomol.* 35, 26-37.
- DAUTEL, H., DIPPEL, C., OEHME, R., HARTELT, K. & E. SCHEITTLER (2006): Evidence for an increased geographical distribution of *Dermacentor reticulatus* in Germany and detection of *Rickettsia* sp. RpA4. *Int. J. Med. Microbiol.* 296, Suppl. 40, 149-156.
- DAUTEL, H., DIPPEL, C., KÄMMER, D., WERKHAUS, A. & O. KAHL (2008): Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest area. *Int. J. Med. Microbiol.*, 298 S1: 50-54.
- EISEN, L. (2007): Climate change and tick-borne diseases: A research field in need of long-term empirical field studies. *Int. J. Med. Microbiol.* 298 (Supplement 1): 12-18.
- GERN, L. & P.-F. HUMAIR (2002): Ecology of *Borrelia burgdorferi* sensu lato in Europe. In: Gray, J., Kahl, O.,

- Lane, R. S. & G. Stanek (eds.), Lyme Borreliosis. Biology, Epidemiology and Control. CABI Publishing, New York. 149-174.
- GILOT, B., PICHOT, J. & B. DOCHE (1989): Les tiques du Massif Central (France). 1. Les Ixodidés (Acariens, Ixodoidea) parasites de carnivores et d'ongules domestiques sur la bordure orientale du massif. *Acarologia* 30, 191-207.
- IMMLER, R. M. (1973): Untersuchungen zur Biologie und Ökologie der Zecke *Dermacentor reticulatus* (Fabricius, 1794) (Ixodidae) in einem endemischen Vorkommensgebiet. *Mitt. Schweiz. Entomol. Ges.* 46, 2-70.
- LINDGREN, E., TÄLLEKLINT, L. & T. POLFELDT (2000): Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. *Environ. Health Perspect.* 108, 119-123.
- MATERNA, J., DANIEL, M. & V. DANIELOVÁ (2005): Altitudinal distribution limit of the tick *Ixodes ricinus* shifted considerably towards higher altitudes in Central Europe: Results of three years monitoring in the Krkonoše Mts. (Czech Republic). *Cent. Eur. J. Publ. Health* 13, 24-28.
- OGDEN, N. H., MAAROUF, A., BARKER, I. K., BIGRAS-POULIN, M., LINDSAY, L. R., MORSHED, M. G., O'CALLAGHAN, C. J., RAMAY, F., WALTERNER-TOEWS, D. & D. F. CHARRON (2006): Climate change and the potential for range expansion of the Lyme disease vector *Ixodes scapularis* in Canada. *Int. J. Parasitol.* 36, 63-70.
- TÄLLEKLINT, L. & T. G. T. JAENSON (1998): Increasing geographical distribution and density of *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) in central and northern Sweden? *J. Med. Entomol.* 35, 521-526.
- ZEMAN, P. & C. BENEŠ (2004): A tick-borne encephalitis ceiling in Central Europe has moved upwards during the last 30 years: Possible impact of global warming? *Int. J. Med. Microbiol.* 293, Suppl. 37, 48-54.
- DAUTEL, H. (2010): Tick-borne encephalitis: From childhood to golden age does increased mobility mean increased risk? *Conf. Report 11th Meeting Intern. Science Working Group on Tick-borne encephalitis (ISW-TBE)*. *Vaccine* 28 (2010), 875-876.
- DAUTEL, H. & W. KNÜLLE (2009): Embryonic diapause and cold-hardiness of *Ixodes ricinus* eggs (Acari: Ixodidae). In: Sabelis, M. W. & J. Bruin (eds.) *Trends in Acarology*. 327-331.
- GROSS, J., EBEN, A. & C. DIPPEL (2011): Die Entwicklung von innovativen Lockstofffallen für Monitoring und Massenfang der Überträger von Obstbaumphytoplasmen. *Öko-Obstbau* 4/2011: 16-17.
- KARGER, A., KAMPEN, H., BETTIN, B., DAUTEL, H., ZILLER, M., HOFFMANN, B., SÜSS, J. & C. KLAUS (2012): Species determination and characterization of developmental stages of ticks by whole-animal matrix-assisted laser desorption/ionization mass spectrometry. *Ticks and Tick-borne Dis.*, DOI: 10.1016/j.ttbdis.2011.11.002.
- RUMER, L., GRASER, E., HILLEBRAND, T., TALASKA, T., DAUTEL, H., MEDIANNIKOV, O., ROY-CHOWDHURY, P., SHESHUKOVA, O., MANTKE, O. D. & M. NIEDRIG (2011): *Rickettsia aeschlimannii*, in *Hyalomma marginatum* ticks, Germany. *Emerging Infectious Diseases* 17: 325-326.
- RUMER, L., SHESHUKOVA, O., DAUTEL, H., MANTKE, O. D. & M. NIEDRIG (2009): Differentiation of medically important Euro-Asia tick species, *Ixodes ricinus*, *Ixodes persulcatus*, *Ixodes hexagonus*, and *Dermacentor reticulatus* by polymerase chain reaction. *Vector-borne and zoonotic diseases*. DOI: 10.1089/vbz.2009.0191 (7 Pages).
- SCHMIDT, O., DAUTEL, H., NEWTON, J. & J. S. GRAY (2011): Natural isotope signatures of host blood are replicated in moulted ticks. *Ticks and Tick-borne Diseases* 2 (2011): 225-227. DOI:10.1016/j.ttbdis.09.006.

Weiterführende Literatur:

- DAUTEL, H., DIPPEL, C., WERKHAUSEN, A. & R. DILLER (2013): Efficacy testing of several *Ixodes ricinus* tick repellents: Different results with different assays. *Ticks and Tick-borne Diseases*, 4: 256-263.
- DAUTEL, H. (2010). Zecken und Temperatur. In: Aspöck, H. (ed.). *Krank durch Arthropoden*. *Denisia* 30. 149-169.

Kontakt:

Olaf Kahl
Lektor
tick-radar GmbH
Berlin
olaf.kahl@berlin.de
Hans Dautel
IS Insect Service GmbH
Berlin

Kahl, O. & H. Dautel (2014): Zur Biologie und Ökologie von Zecken und ihre Ausbreitung nach Norden. In: Lozán, J.L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.2.12) - www.warnsignale.uni-hamburg.de.