11 Der Einfluss des Klimawandels auf die Ausbreitung von Infektionserkrankungen – am Beispiel der Lyme-Borreliose

Martín Lotto-Batista, Christiane Behrens und Stefanie Castell

C. Günster | J. Klauber | B.-P. Robra | C. Schmuker | A. Schneider (Hrsg.) Versorgungs-Report Klima und Gesundheit.
DOI 10.32745/9783954666270-11, © MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Berlin 2021

Durch Zecken übertragene Erkrankungen gehören zu den häufigsten klimasensitiven Infektionserkrankungen auf der Nordhalbkugel. Lyme-Borreliose weist dabei die höchste Prävalenz unter diesen Erkrankungen in Europa, wo *Ixodes ricinus* (Gemeiner Holzbock) sehr verbreitet ist, auf. Mit fortschreitendem Klimawandel ändern sich die Bedingungen für die Verbreitung von Zeckenpopulationen, zum einen aufgrund von Temperatur- oder Niederschlagsveränderungen, zum anderen wegen Änderungen in der Landnutzung sowie im menschlichen Verhalten. Während für Nordeuropa eine vermehrte Ausbreitung der Zecken erwartet wird, könnten vermehrte Trockenheit und Hitzeepisoden einen Rückgang der Zeckenpopulationen in mittleren und südlichen Regionen, die gegenwärtig Risikogebiete sind, bewirken. Folglich könnte Deutschland von den schlechteren Bedingungen für das Überleben von Zecken profitieren. Dennoch ist das komplexe System, das zur Entwicklung der Borreliose-Fallzahlen beiträgt, flexibel genug, um diesen Klimaeffekten entgegenzuwirken. Weitere Forschungsarbeiten sind notwendig, um die Auswirkungen des Klimawandels auf das Risiko von Borreliose in Deutschland vorhersagen zu können. Wenn immer mehr detailliertere Klimaprojektionen verfügbar werden, sollten Vorhersagen, die zu verbesserten oder regional spezifischeren Public Health-Empfehlungen führen, in naher Zukunft machbar sein.

Tick-borne infectious diseases are amongst the most common climate sensitive infectious diseases in the northern hemisphere. Lyme borreliosis is the most prevalent disease transmitted by ticks in Europe where *Ixodes ricinus* circulates in a vast extension of the region. As climate change progresses, conditions for tick distribution change, either because of shifts in temperature or precipitation, or because of modifications in land use and human behavior. While ticks are expected to expand towards/in northern Europe, drier conditions and heat waves could have a negative feedback on current risk areas in the middle or the south. As a result, Germany could benefit from more restrictive conditions for tick survival. Nonetheless, the complex system in which borreliosis takes place is flexible enough to counteract these effects. Further research is necessary for predicting the impact of a changing climate in the risk of *Borrelia* infections in Germany. As more detailed climate projections become available, predictions leading to public health recommendations are foreseeable in the near future.

© urheberrechtlich geschützt
mit freundlicher Genehmigung von
MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

11.1 Einleitung

Klimasensitive Infektionen, also Erkrankungen, die auf klimatische Veränderungen reagieren, sind ein wichtiges Public Health-Thema – regional, national und global (Liang u. Gong 2017). Hitzewellen, Stürme, Dürren und Überschwemmungen beeinflussen das Risiko für bestimmte Erkrankungen (Watts et al. 2015). Unter den verschiedenen klimasensitiven Infektionskrankheiten zeichnen sich von Zecken übertragene Krankheiten wie die Lyme-Borreliose für Europa durch eine besonders hohe Public Health-Relevanz aus, da diese Erkrankung im Vergleich zu anderen vektorübertragenen Krankheiten die meisten Krankheitsfälle beim Menschen verursacht und kein humanmedizinischer Impfstoff zugelassen ist (RKI 2019; Semenza u. Menne 2009). Außerdem ist bereits ein Anstieg der Zeckenhäufigkeiten in verschiedenen Regionen Europas sowie Verschiebungen in der räumlichen Verteilung von Zeckenpopulationen in Richtung höherer Breitengrade und Höhenlagen zu beobachten (Danielová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Soleng et al. 2018). Auf der anderen Seite spiegeln die deutschen Surveillancedaten keinen eindeutigen ansteigenden Trend von gemeldeten Erkrankungsfällen in den letzten Jahren wider (Wilking u. Stark 2014; Enkelmann et al. 2018).

Verschiedene Faktoren spielen in dem komplexen Zusammenspiel, dessen Resultat die Anzahl der Borreliose-Erkrankten in Europa und Deutschland darstellt, eine Rolle: Vorkommen und Aktivität von Zecken und die Verteilung ihrer Wirte, Vegetation, aber auch das Verhalten von Menschen.

Das vorliegende Kapitel möchte einen Überblick über diese Faktoren sowie eine Aussicht auf mögliche Entwicklungen geben, die sich durch den Klimawandel ergeben könnten. Das Kapitel beginnt mit einem Überblick zum Thema Zecken und Lyme-Borreliose sowie der Interaktion des Vektors mit Mensch, Tier und (einer sich verändernden) Umwelt. Anschließend werden anhand einer literaturgestützten Beschreibung aktuelle Hypothesen zur Dynamik der Lyme-Borreliose bei Klimaveränderungen dargestellt. Im letzten Abschnitt werden Strategien für den Umgang mit Lyme-Borreliose und dessen Kontrolle im Hinblick auf die ungewissen klimatischen Szenarien diskutiert.

11.2 Hintergrund

11.2.1 Zecken

Vier Vertreter der *Ixodes*-Zecke, auch Schildzecke genannt, sind auf der Nordhalbkugel für die Übertragung von Lyme-Borreliose verantwortlich: *Ixodes (I.) scapularis* und *I. pacificus* in Nordamerika sowie *I. persulcatus* u.a. in Asien und *I. ricinus* in Europa (Gray 1998). Letztere, auch bekannt als Gemeiner Holzbock, ist im gesamten Bundesgebiet vertreten (Rubel et al. 2014).

Lebens- und Infektionszyklus

Zecken werden durchschnittlich 2–3 Jahre alt, können allerdings auch bis zu sechs Jahre überleben (Van Oort et al. 2020). Sie durchlaufen in ihrer Entwicklung drei Stadien: Larven, Nymphen und adulte Zecken (Randolph 2004). Um sich zu häuten oder fortzupflanzen, ernähren sich Zecken einmal pro Entwicklungsphase (Randolph 2004). Die in Deutschland vorkommende *I. ricinus* ist, was das Wirtsspektrum betrifft, generalistisch. Larven und Nymphen ernähren sich von verschiedenen Tieren, unter anderem Nagetieren und Vögeln (Gray et al. 2016; Lucius u. Loos-Frank 2008), während adulte Zecken insbesondere mittelgroße und große Säugetiere wie Rehe und Nutzvieh stechen (Gray et al. 2016). Im Durchschnitt sind etwa 14% der Zecken in Europa mit Borrelien infiziert, in Deutschland in der Region Hannover z.B. ca. 24%, und Adulte zu einem höheren Anteil als Nymphen (Rauter u. Hartung 2005; Blazejak et al. 2018). Zecken können in allen Stadien Menschen befallen (Lucius u. Loos-Frank 2008), die Übertragung von Infektionen erfolgt

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

jedoch hauptsächlich durch Nymphen und adulte Zecken (Hunfeld u. Brade 2012).

Als *questing* wird die von Zecken verwendete Strategie bezeichnet, mit der sie neue Wirte finden. Beim *questing* klettern Zecken je nach Entwicklungsstadium auf Pflanzen verschiedener Höhen und warten auf einen geeigneten Wirt (Gilbert et al. 2014). Nach dem *questing* erholen sich die Zecken am Boden, wo die Luftfeuchtigkeit hoch ist und der Wasserhaushalt wieder ausgeglichen werden kann (Kilpatrick et al. 2017; Mejlon u. Jaenson 1997). Vermutet wird, dass neben den allgemeinen klimatischen Bedingungen in der Umgebung eine ausreichend hohe Feuchtigkeit am Boden, z.B. in einer dichten Kraut-, Strauch- und Laubschicht, die auch in Dürreperioden das Überleben der Zecken sichert, einen entscheidenden Einfluss auf die Zeckenaktivität hat (Boehnke et al. 2017; Schwarz et al. 2009). Aus diesem Grund bevorzugen Zecken Habitate, in denen sie sich in eine bodendeckende Streuschicht aus beispielsweise Laub und Efeu zurückziehen können (Hauck et al. 2020; Schwarz et al. 2009). Um eine Austrocknung zu vermeiden, sollte die relative Luftfeuchtigkeit ausreichend hoch sein (Ostfeld u. Brunner 2015). Es handelt sich hierbei um ein komplexes Geschehen im Zusammenspiel von Temperatur und Feuchtigkeit (Kahl u. Knülle 1988; Ostfeld u. Brunner 2015). In Nord- und Zentraleuropa praktizieren Nymphen und Adulte das *questing* am häufigsten im Frühling und Frühsommer, während ein weiterer geringerer Höhepunkt im Herbst aufritt (Gray et al. 2016; Hauck et al. 2020). Wenn die Temperaturen fallen und die Tageslichtstunden weniger werden, reduzieren bzw. stoppen Zecken alle Aktivitäten (Randolph 2004). Für *questing* ist eine durchschnittliche tägliche Maximaltemperatur von über 7°C über mehrere Tage notwendig (Perret et al. 2000). Allerdings tendieren Zecken aus kälteren Regionen dazu, *questing* auch während niedrigerer Temperaturen durchzuführen (Gilbert et al. 2014). Bei höheren Temperaturen ist in Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit ebenfalls ein Rückgang des *questings* zu beobachten (Randolph 2004).

Verbreitung

Zecken finden sich beispielsweise in Wäldern, Buschzonen und städtischen Parks (Hauck et al. 2020; Hunfeld u. Brade 2012). Eine hohe Nymphendichte wurde in Laub- und Mischwäldern beschrieben und eine niedrigere Dichte für Nadelwälder, Parks, Gras und Heide, was darauf zurückzuführen ist, dass Zecken in offener und niedriger Vegetation und Nadelwäldern häufig trockeneren Wetterbedingungen ausgesetzt sind (Hauck et al. 2020; Lindström u. Jaenson 2003).

Die klimatischen Bedingungen allein reichen allerdings nicht aus, um die räumlich-zeitliche Verteilung von Zecken zu verstehen. Die Verfügbarkeit von Wirten ist zudem entscheidend für ihre Ausbreitung, Entwicklung sowie den Infektionsprozess und muss daher in die Betrachtung von möglichen Änderungen der geografischen Verteilung von Zecken im Kontext von Klimawandel einbezogen werden (Fernández-Ruiz u. Estrada-Peña 2020).

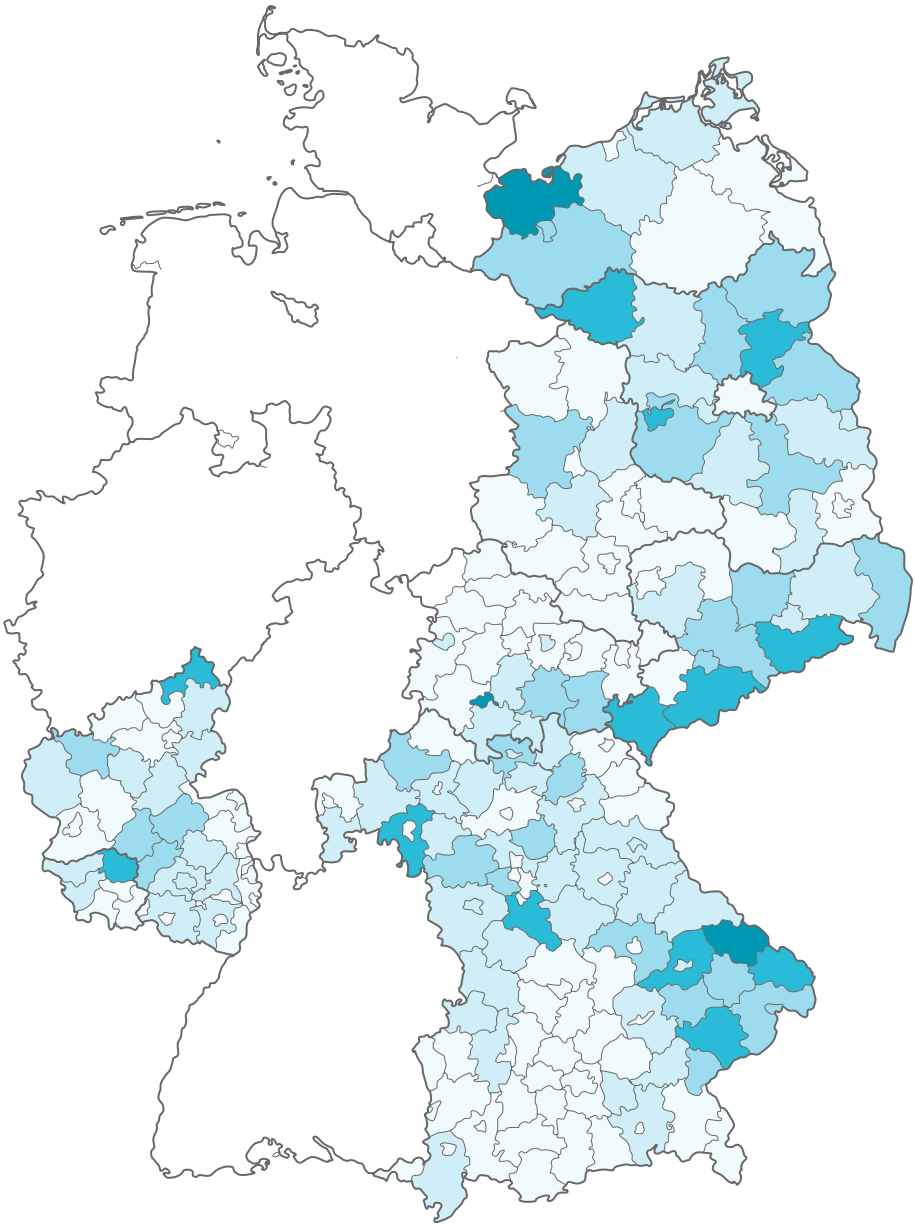
In den letzten Jahren konnte beobachtet werden, dass Zeckenpopulationen sich innerhalb von Europa nach Norden sowie in größere Höhen ausbreiten (Danielová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Soleng et al. 2018). In Schweden z.B. fördern Hirsche die Verbreitung von *I. ricinus* in neue Gebiete (Jaenson et al. 2012).

11.2.2 Borreliose

Erkrankung

Das Bakterium *Borrelia (B.) burgdorferi* wurde in den 80ern als Ursache der Lyme-Erkrankung identifiziert (Johnson et al. 1984). Verursacht wird Borreliose durch eine Infektion mit *B. burgdorferi sensu lato*. In Europa werden fünf humanpathogene Spezies beobachtet (Hunfeld u. Brade 2012). Eine Zecke muss im Durchschnitt mehrere Stunden saugen, bevor der Erreger erfolgreich übertragen wird; das Infektionsrisiko mit Borrelien steigt somit mit der Zeit an (Hunfeld u.

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021



Fälle/100.000 Einwohner:innen

100 km

keine Daten verfügbar | 0 bis 30 | > 30 bis 60 | > 60 bis 90 | > 90 bis 120 | > 120

Abb. 1 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019 (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, https://survstat.rki.de, Abfragedatum: 11.11.2020)

© urheberrechtlich geschützt , mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

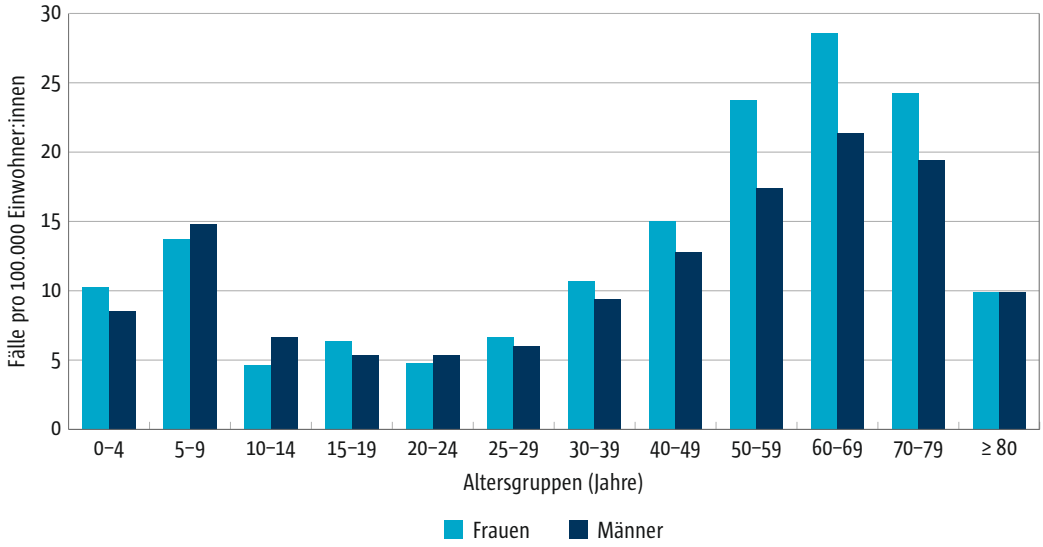


Abb. 2 Inzidenz der gemäß länderspezifischer Meldeverordnung gemeldeten Borreliose-Fälle pro 100.000 Einwohner:innen in Bayern, Berlin, Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Rheinland-Pfalz, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Thüringen im Jahr 2019, stratifiziert nach Alter und Geschlecht (Robert Koch-Institut: SurvStat@RKI 2.0, https://survstat.rki.de, Abfragedatum: 11.11.2020)

Brade 2012). Neben Borreliose können Zecken in Europa auch Erkrankungen wie die Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) übertragen.

Epidemiologie der Borreliose in Deutschland

Borreliose ist gegenwärtig die am häufigsten durch Zecken übertragene Erkrankung in Europa (Semenza u. Menne 2009). Serologischen Analysen zufolge liegt die gewichtete Antikörperprävalenz der deutschen Bevölkerung bei ca. 10% (Wilking et al. 2015). Basierend auf Abrechnungsdaten wird in Deutschland von etwa 214.000 jährlichen Neuerkrankungen ausgegangen, wobei eine Überschätzung z.B. aufgrund der komplexen Diagnostik nicht ausgeschlossen werden kann (Müller et al. 2012). Seit 2001 wurde sukzessive eine Meldepflicht von bestimmten klinischen Borreliose-Manifestationen in verschiedenen Bundesländern eingeführt und besteht aktuell in 9 Ländern (RKI 2004, 2019). Derzeit sind damit 42% der deutschen Bevölkerung in die Surveillance eingeschlossen (Enkelmann et al. 2018). Da in Deutschland kein einheitliches System zur Surveillance von Borreliose vorhanden ist, sind aktuell keine Meldedaten für ganz Deutschland verfügbar (RKI 2019). Zwischen 2013 und 2017 wurden insgesamt 56.446 Fälle von Borreliose gemeldet – ohne einen deutlich zu- oder abnehmenden jährlichen Trend aufzuweisen (Enkelmann et al. 2018).

Das saisonale Muster der Borreliose-Erkrankungen ist in Deutschland in den letzten Jahren stabil geblieben (Enkelmann et al. 2018). Die meisten Erkrankungen beginnen zwischen Juni und September (Enkelmann et al. 2018; Wilking u. Stark 2014). Die räumliche Verteilung der gemeldeten Fälle ist heterogen (s. Abb. 1).

Aus demografischer Sicht weist die Erkrankung eine bimodale Verteilung mit einem ersten Gipfel zwischen dem fünften und neunten Lebensjahr und zwischen 60 und 69 Jahren auf (s. Abb. 2). Die Geschlechterverteilung der Borreliosefälle ist nicht eindeutig: Während

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

surveillancebasierte Veröffentlichungen zeigen, dass die knappe Mehrheit der Fälle Frauen betrifft (Enkelmann et al. 2018; Wilking u. Stark 2014), ergeben Untersuchungen der Seroprävalenz in Deutschland gegenteilige Ergebnisse (Wilking et al. 2015; Dehnert et al. 2012).

11.2.3 Exposition des Menschen mit Zecken

Da sich Zecken wie oben ausgeführt z.B. in Wäldern finden lassen, treffen Menschen und Zecken in der Regel durch Aufenthalte im Freien aufeinander. Entsprechend lässt sich ein positiver Serostatus eher bei Menschen, die auf dem Land leben, finden (Wilking et al. 2015). Hinsichtlich Haustierhaltung sind die Studienergebnisse widersprüchlich: Wilking et al. beobachteten keinen Einfluss auf den Serostatus durch Hunde- oder Katzenhaltung im Haus (Wilking et al. 2015), während Dehnert et al. eine erhöhte Chance für Seropositivität bei Kindern und Jugendlichen durch Katzenhaltung, nicht jedoch durch Hundehaltung fand (Dehnert et al. 2012).

11.3 Einfluss des Klimawandels auf Borreliose

Borreliose ist eingebettet in ein komplexes System, das Zecken, verschiedene Wirtsarten und Vegetation, Flächennutzung, Wetter bzw. Klima sowie menschliches Verhalten umfasst. Prinzipiell können Veränderungen des Klimas und der Umwelt mit jedem der genannten Aspekte interagieren und Schwankungen in der Krankheitsdynamik auslösen.

11.3.1 Klimawandel und Zecken

Verbreitung

Die seit etwa 1990 beobachteten Veränderungen der klimatischen Bedingungen in Nordeuropa führen dazu, dass sich die Entwicklungszyklen von Zecken verkürzen (Estrada-Peña u. Fernández-Ruiz 2020). Dies trägt auch dazu bei, dass Zecken zunehmend auch in nördlicheren Regionen und in Höhenlagen zu finden sind (Danielová et al. 2010; Jaenson et al. 2012; Jore et al. 2011; Soleng et al. 2018). Beobachtet werden konnte der Zusammenhang zwischen wärmeren Temperaturen und Veränderungen in der Verteilung von Zecken in Ländern wie Schweden, dem europäischen Russland sowie der Tschechischen Republik (Daniel et al. 2003; Lindgren et al. 2000; Tokarevich et al. 2011). Im Gegensatz dazu könnten Gebiete, die gegenwärtig noch als endemische Standorte gelten, durch das Auftreten von Hitzewellen, Dürren oder Änderungen der Landnutzung nachteilig für Zecken werden (Boeckmann u. Joyner 2014; Li et al. 2019) – dies könnte in Teilen auch für Deutschland zutreffen (Boeckmann u. Joyner 2014). Es ist allerdings davon auszugehen, dass die für Zecken geeignete Fläche in Europa insgesamt um etwa 4 Prozentpunkte zunehmen wird (Boeckmann u. Joyner 2014). Li et al. prognostizieren allerdings für Deutschland für die kommenden Jahrzehnte in den meisten untersuchten Szenarien eine Abnahme der Größe der Hochrisikogebiete von bis zu etwa 25% (Mai, Juni).

Aktivität von Zecken

Wie in Kapitel 11.2.1 ausgeführt, zählen zu den wichtigsten Bedingungen für das Überleben und die Verbreitung von Zecken Temperatur und Feuchtigkeit. Ein Temperaturanstieg in Winter, Frühling und Herbst würde die Dauer der Wirtsuche durch Zecken verlängern (Gilbert et al. 2014; Gray et al. 2009; Li et al. 2019). Das *questing* könnte dann z.B. sogar im Winter stattfinden (Dautel et al. 2008). Darüber hinaus beschleunigen höhere Temperaturen die Lebenszyklen der Zecken, sodass sie schneller zwischen den Entwicklungsstadien wechseln können (Estrada-Peña u. Fernández-Ruiz 2020). Modellierungen für Bayern zeigen z.B., dass moderate Jahresdurchschnittstemperaturen im

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

Vorjahr und wärmere Winter zu höheren Nymphendichten in den Folgejahren führen können (Brugger et al. 2018).

Klimatische Modellierungen für Europa prognostizieren eine Zunahme der Anzahl heißer Tage sowie von Hitzewellen und Trockenperioden (Grillakis et al. 2019; Spinnoni et al. 2018). In Deutschland werden insbesondere für Süddeutschland höhere Temperaturen sowie stärkere und häufigere Dürreperioden vorhergesagt (Hertig 2020; Jacob et al. 2014), wobei das Ausmaß stark vom zugrundeliegenden Szenario abhängt. Diese potenziellen Entwicklungen, welche zu einer Abnahme des Vorkommens bzw. der Aktivität von Zecken führen könnten, werden allerdings möglicherweise durch die Anpassungsfähigkeit von Zecken, die es ihnen ermöglicht, ungünstigen bzw. veränderten klimatischen Bedingungen effizient zu begegnen, (Gilbert et al. 2014) abgeschwächt werden. Auch das Mikroklima des Zeckenhabitats könnte eine entscheidende, ausgleichende Rolle spielen (s.o.).

11.3.2 Klimawandel und Wirte von Zecken

Modellierungsansätze, die Effekte von Klimaänderungen untersuchen und dabei sowohl Veränderungen in der Zecken- als auch in der Wirtsverteilung berücksichtigen, werden als die beste Darstellung des natürlichen Systems angesehen (Fernández-Ruiz u. Estrada-Peña 2020). Verschiedene Wirte tragen zur Aufrechterhaltung bzw. Ausbreitung der Zeckenpopulation bei (Kilpatrick et al. 2017). In Bayern zum Beispiel wurde beobachtet, dass das Vorkommen von Bucheckern, die Säugetiere ernähren, mit höheren Nymphendichten in den Folgejahren korrelierte (Brugger et al. 2018).

Zusätzlich können Aufforstungsprogramme zur Entstehung neuer Risikogebiete führen (Medlock et al. 2013). In einigen Regionen der Vereinigten Staaten wird ein Zusammenhang zwischen wiederaufgeforsteten Ackerflächen, zurückkehrenden Wildtierpopulationen und Borreliose hergestellt (Barbour u. Fish 1993). In Deutschland wurde die Wiederbewaldung von beschädigten Waldflächen zu Kernzielen des Wiederaufforstungs- und Anpassungsprogramms erklärt, welches 2019 vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL) beschlossen wurde (BMEL 2019). Wie sich dies auf die Bestände von Wirten von Zecken und somit auf die geografische Verteilung von Zecken auswirkt, bleibt abzuwarten.

11.3.3 Borreliose und Klimawandel

Wenn man Europa betrachtet, ist davon auszugehen, dass sich die Inzidenz der Borreliose verändern wird, jedoch werden die Entwicklungen regional unterschiedlich sein (Li et al. 2019). In Teilen Südeuropas wird das komplexe Zusammenwirken der beschriebenen verschiedenen Faktoren dazu führen (Li et al. 2019), dass dort ein Rückgang der Borreliose zu erwarten ist. Wie bereits erwähnt, ist andererseits eine Ausbreitung der Borreliose in höhere Breitengrade in Nordeuropa abzusehen (Alkishe et al. 2017; Li et al. 2019). Eine heterogene, regional differierende Entwicklung ist möglicherweise auch innerhalb von Deutschland zu erwarten.

Um die Entwicklung der Borreliosefälle in Rahmen von Klimaprojektionen abschätzen zu können, kann mit mathematischen oder statistischen Modellen gearbeitet werden. Diese bieten die Möglichkeit, hypothetische Szenarien nachzustellen und zu beobachten, wie sich unterschiedliche Komponenten im System verhalten (Ostfeld u. Brunner 2015). Allerdings sind die Ergebnisse und deren Interpretation nicht immer eindeutig: Stevens et al. beispielsweise untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Szenarien auf die Identifikation von Risikogebieten für Borreliose im Südosten der USA, wobei einige Szenarien das Risiko erhöhten, während es in anderen abnahm (Stevens et al. 2019). Neben einem sich verändernden Klima variierten auch Landnutzungen zwischen unterschiedlichen Szenarien und führten zu heterogenen Bewertungen (Stevens et al.

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

2019). Spezifische Modellierungen für Deutschland, die neben Klimawandel auch andere Faktoren berücksichtigen, stehen noch aus.

11.4 Prävention

Angesichts der zuvor beschriebenen Komplexität, die in Schätzungen zukünftiger Borreliosefallzahlen hineinwirken, stellen belastbare Vorhersagen eine große Herausforderung dar. Auch wenn gegenwärtig keine klare Aussage zur Entwicklung der Fallzahlen in Deutschland getroffen werden kann, ist davon auszugehen, dass sich diese – ggf. regional unterschiedlich – und in Abhängigkeit von dem Ausmaß des Klimawandels verändern werden. Dies bedeutet, dass sowohl eine Zu-, Abnahme oder Stabilisierung von Fallzahlen denkbar ist.

Grundsätzlich gilt jedoch, dass – wie gegenwärtig auch schon – präventive Interventionen und Handlungsempfehlungen sinnvoll sind, um das Risiko der Borreliose-Infektionen zu senken. In Deutschland empfehlen das Robert Koch-Institut (RKI) und die Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BzgA) diverse Maßnahmen, um Borreliose vorzubeugen (BzgA 2019, RKI 2019). Dazu gehören insbesondere die Aufklärung über Präventionsmaßnahmen wie Bedeckung von Armen und Beinen sowie die Verwendung von Repellents (RKI 2019). Nach Outdoor-Aktivitäten sollte der Körper auf Zeckenbefall abgesucht werden (RKI 2019). Diese Maßnahmen sollten insbesondere exponierten Personengruppen, die in Freizeit oder Beruf viel in der Natur sind, nahegebracht werden (RKI 2019).

Surveillance ist ein wesentlicher Aspekt der Kontrolle von vektorübertragenen Erkrankungen (Jansen et al. 2008). In Deutschland ist Borreliose lediglich in neun Bundesländern meldepflichtig, wodurch zwar 42% der Bevölkerung abgedeckt wird (Enkelmann et al. 2018), eine landesweite Surveillance allerdings nicht möglich ist. Das könnte angesichts der regional möglicherweise unterschiedlichen Entwicklungen im Laufe der nächsten Jahrzehnte ggf. zu Problemen führen (Poggensee et al. 2008).

Impfungen stellen eine wichtige Präventionsmaßnahme im Kontext von Infektionskrankheiten dar. Impfstoffe gegen Borreliose sind für veterinärmedizinische Zwecke verfügbar (StiKo Vet 2019). Für Menschen war in den späten 1990er-Jahren ein Impfstoff gegen Borreliose in den USA vorhanden, der jedoch wieder vom Markt genommen wurde (RKI 2019; Strnad et al. 2020). Derzeit werden zwei humanmedizinische Impfstoffe getestet (Sprong et al. 2018). Gegenwärtig besteht nur die Möglichkeit, schwere Verläufe der Erkrankung mit einer frühen Gabe von Antibiotika zu verringern (AWMF 2016). Eine prophylaktische lokale oder systemische Behandlung mit Antibiotika nach Zeckenstichen wird in Deutschland jedoch nicht empfohlen, sondern erst beim Auftreten von Symptomen wie z.B. *Erythema migrans*, der sogenannten Wanderröte, einer charakteristischen randbetonten Hautläsion um die Einstichstelle (AWMF 2016).

Kontrollmaßnahmen, die der Verbreitung der Erkrankung entgegenwirken, sind vielfältig. In Anbetracht der beschriebenen Komplexität des Systems gibt es keine einzelne wirksame Intervention. Maßnahmen wie die Überwachung von humanen Erkrankungen, Zecken und Wirten, (lokale) Aufklärungskampagnen und die Entwicklung von Impfstoffen wirken zusammen, um dem möglichen Einfluss klimatischer Veränderungen auch in Zukunft zu begegnen.

Acknowledgement

Mareike-Lina Wollenweber und Jin De-Long unterstützten bei der Übersetzung der englischen Fassung des Manuskripts.

Die Helmholtz-Klima-Initiative (HI-CAM) wurde mit Mitteln des Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft (IVF) gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei der Autorin/beim Autor.

© urheberrechtlich geschützt , mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

Literatur

Alkishe AA, Peterson AT, Samy AM (2017) Climate change influences on the potential geographic distribution of the disease vector tick Ixodes ricinus. PLoS ONE 12(12).

AWMF – Arbeitsgemeinschaft der Wissenschaftlichen Medizinischen Fachgesellschaften (2016) Kutane Lyme Borreliose. Leitlinie der Deutschen Dermatologischen Gesellschaft. URL: https://www.awmf.org/uploads/tx_szleitlinien/013-044l_S2k_Kutane_Lyme_Borreliose_2016-05.pdf (abgerufen am 05.03.2021).

Barbour AG; Fish D (1993) The biological and social phenomenon of Lyme disease. Science 260(5114), 1610–1616.

Blazejak K, Raulf MK, Janecek E, Jordan D, Fingerle V, Strube C (2018) Shifts in Borrelia burgdorferi (s.l.) geno-species infections in Ixodes ricinus over a 10-year surveillance period in the city of Hanover (Germany) and Borrelia miyamotoi-specific Reverse Line Blot detection. Parasit Vectors 11(304), 1–10.

BMEL – Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (2019) Deutschlands Wald im Klimawandel. Eckpunkte und Maßnahmen. URL: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldgipfel-2019-diskussionspapier.pdf;jsessionid=7941F8C6ECF95B6D9B241325CB392564.internet2831?__blob=publicationFile&v=6 (abgerufen am 05.03.2021).

Boeckmann M, Joyner TA (2014) Old health risks in new places? An ecological niche model for I. ricinus tick distribution in Europe under a changing climate. Health Place 30, 70–77.

Boehnke D, Gebhardt R, Petney T, Norra S (2017) On the complexity of measuring forests microclimate and interpreting its relevance in habitat ecology: the example of Ixodes ricinus ticks. Parasites & Vectors 10(1), 1–14.

Brugger K, Walter M, Chitimia-Dobler L, Dobler G, Rubel F (2018) Forecasting next season's Ixodes ricinus nymphal density: the example of southern Germany 2018. Exp Appl Acarol 75, 281–288.

BzgA – Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (2019) Borreliose. Informationen über Krankheitserreger beim Menschen. URL: https://www.infektionsschutz.de/erregersteckbriefe/borreliose/ (abgerufen am 05.03.2021).

Daniel M, Danielová V, Kríz B, Jirsa A, Nozicka J (2003) Shift of the tick Ixodes ricinus and tick-borne encephalitis to higher altitudes in central Europe. Eur J Clin Microbiol Infect Dis 22(5), 327–328.

Danielová V, Daniel M, Schwarzová L, Materna J, Rudenko N, Golovchenko M, Holubova J, Grubhoffer L, Kilián P (2010) Integration of a tick-borne encephalitis virus and Borrelia burgdorferi sensu lato into mountain ecosystems, following a shift in the altitudinal limit of distribution of their vector, Ixodes ricinus (Krkonose mountains, Czech Republic). Vector-Borne And Zoonotic Diseases 10 (3), 223–230.

Dautel H, Dippel C, Kämmer D, Werkhausen A, Kahl O (2008) Winter activity of Ixodes ricinus in a Berlin forest. International Journal of Medical Microbiology 298, 50–54.

Dehnert M, Fingerle V, Klier C, Talaska T, Schlaud M, Krause G, Wilking H, Poggensee G (2012) Seropositivity of Lyme borreliosis and associated risk factors: a population-based study in Children and Adolescents in Germany (KiGGS). PLoS ONE 7(8).

Enkelmann J, Böhmer M, Fingerle V, Siffczyk C, Werber D, Littmann M, Merbecks SS, Helmeke C, Schroeder S, Hell S, Schlotthauer U, Burckhardt F, Stark K, Schielke A, Wilking H (2018) Incidence of notified Lyme borreliosis in Germany, 2013–2017. Sci Rep 8(14976).

Estrada-Peña A, Fernández-Ruiz N (2020) A Retrospective Assessment of Temperature Trends in Northern Europe Reveals a Deep Impact on the Life Cycle of Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae). Pathogens 9(345).

Fernández-Ruiz N, Estrada-Peña A (2020) Could climate trends disrupt the contact rates between Ixodes ricinus (Acari, Ixodidae) and the reservoirs of Borrelia burgdorferi s.l.? PLoS One 15(5).

Gilbert L, Aungier J, Tomkins JL (2014) Climate of origin affects tick (Ixodes ricinus) host-seeking behavior in response to temperature: Implications for resilience to climate change? Ecol Evol 4(7), 1186–1198.

Gray JS (1998) Review The ecology of ticks transmitting Lyme borreliosis. Exp Appl Acarol 22, 249–258.

Gray JS, Dautel H, Estrada-Peña A, Kahl O, Lindgren E (2009) Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in europe. Interdisc perspect infect dis 2009(593232).

Gray JS, Kahl O, Lane RS, Levin ML, Tsao JI (2016) Diapause in ticks of the medically important Ixodes ricinus species complex. Ticks Tick Borne Dis 7(5), 992–1003.

Hauck D, Springer A, Chitimia-Dobler L, Strube C (2020) Two-year monitoring of tick abundance and influencing factors in an urban area (city of Hanover, Germany). Ticks and Tick-borne Diseases 11(5).

Hertig E (2020) Health-relevant ground-level ozone and temperature events under future climate change using the example of Bavaria, Southern Germany. Air Qual Atmos Health 13(4), 435–446.

Hunfeld KP, Brade V (2012) Borrelien. In: Suerbaum S, Hahn H, Burchard GD, Kaufmann SHE, Schulz TF (Hrsg.) Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie. 7. überarbeitete Auflage. Springer Berlin, 372–378.

Jacob D, Petersen J, Eggert B, Alias A, Christensen OB, Bouwer LM, Braun A, Colette A, Déqué M, Georgievski G, Georgopoulou E, Gobiet A, Menut L, Nikulin G, Haensler A, Hempelmann N, Jones C, Keuler K, Kovats S, Kröner N, Kotlarski S, Kriegsmann A, Martin E, Van Meijgaard E, Moseley C, Pfeifer S, Preuschmann S, Radermacher C, Radtke K, Rechid D, Rounsevell M, Samuelsson P, Somot S, Soussana JF, Teichmann C, Valentini R, Vautard R, Weber B, Yiou P (2014) EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. Reg Environ Change 14 (2), 563–578.

Jansen A, Frank C, Koch J, Stark K (2008) Surveillance of vector-borne diseases in Germany: trends and challenges in the view of disease emergence and climate change. Parasitology Research 103.

Jaenson TGT, Jaenson DGE, Eisen L, Petersson E, Lindgren E (2012) Changes in the geographical distribution and abundance of

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

the tick Ixodes ricinus during the past 30 years in Sweden. Parasit Vectors 5(8).

Johnson RC, Schmid GP, Hyde FW, Steigerwalt AG, Brenner DJ (1984) Borrelia burgdorferi sp. nov.: Etiologic Agent of Lyme Disease. Int J Syst Bact 34 (4), 496–497.

Jore S, Viljugrein H, Hofshagen M, Brun-Hansen H, Kristoffersen AB, Nygård K, Brun E, Ottesen P, Saevik BK, Ytrehus B (2011) Multi-source analysis reveals latitudinal and altitudinal shifts in range of Ixodes ricinus at its northern distribution limit. Parasit Vectors 4(1).

Kahl O, Knülle W (1988) Water vapour uptake from subsaturated atmospheres by engorged immature ixodid ticks. Exp Appl Acarol 4(1), 73–83.

Kilpatrick AM, Dobson ADM, Levi T, Salkeld DJ, Swei A, Ginsberg HS, Kjemtrup A, Padgett KA, Jensen PM, Fish D, Ogden NH, Diuk-Wasser MA (2017) Lyme disease ecology in a changing world: Consensus, uncertainty and critical gaps for improving control. Philos TransR Soc Lond B Biol Sci 372.

Li S, Gilbert L, Vanwambeke SO, Yu J, Purse BV, Harrison PA (2019) Lyme Disease Risks in Europe under Multiple Uncertain Drivers of Change. Environ Health Perspect 127(6).

Liang L, Gong P (2017) Climate change and human infectious diseases: A synthesis of research findings from global and spatio-temporal perspectives. Environ Int 103, 99–108.

Lindgren E, Tälleklint L, Polfeldt T (2000) Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick Ixodes ricinus. Environ Health Perspect 108(2), 119–123.

Lindström A, Jaenson TGT (2003) Distribution of the common tick, Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae), in different vegetation types in southern Sweden. Journal of Medical Entomology 40(4), 375–378.

Lucius R, Loos-Frank B (2008) Biologie von Parasiten. 2. Aufl. Springer (Springer-Lehrbuch) Berlin, Heidelberg.

Medlock JM, Hansford KM, Bormane A, Derdakova M, Estrada-Peña A, George JC, Golovljova I, Jaenson TGT, Jensen JK, Jensen M, Kazimirova M, Oteo JA, Papa A, Pfister K, Plantard O, Randolph SE, Rizzoli A, Santos-Silva MM, Sprong H, Vial L, Hendrickx G, Zeller H, van Bortel W (2013) Driving forces for changes in geographical distribution of Ixodes ricinus ticks in Europe. Parasit Vectors 6(1).

Mejlon HA, Jaenson TGT (1997) Questing behaviour of Ixodes ricinus ticks (Acari: Ixodidae). Exp Appl Acarol 21(12), 747–754.

Müller I, Freitag MH, Poggensee G, Scharnetzky E, Straube E, Schoerner C, Hlobil H, Hagedorn H-J, Stanek G, Schubert-Unkmeier A, Norris DE, Gensichen J, Hunfeld K-P (2012) Evaluating frequency, diagnostic quality, and cost of Lyme borreliosis testing in Germany: a retrospective model analysis. Clin Dev Immunol 12.

Ostfeld RS, Brunner JL (2015) Climate change and Ixodes tick-borne diseases of humans. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 370(1665).

Perret JL, Guigoz E, Rais O, Gern L (2000) Influence of saturation deficit and temperature on Ixodes ricinus tick questing activity in a Lyme borreliosis-endemic area (Switzerland). Parasitology Research 86(7), 554–557.

Poggensee G, Fingerle V, Hunfeld K-P, Kraiczy P, Krause A, Matuschka F-R, Richter D, Simon MM, 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. Bundesgesundheitsbl 51(11), 1329–1339.

Randolph SE (2004) Tick ecology: Processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. Parasitology (129), 37–65.

Rauter C, Hartung T (2005) Prevalence of Borrelia burgdorferi sensu lato genospecies in Ixodes ricinus ticks in Europe: a metaanalysis. Appl Environ Microbiol 71(11), 7203–7216.

RKI – Robert Koch-Institut (2004) Erkrankungen an Lyme-Borreliose in den sechs östlichen Bundesländern in den Jahren 2002 und 2003. Epid Bullet (28), 219–226.

RKI – Robert Koch-Institut (2019) RKI-Ratgeber: Lyme-Borreliose. URL: https://www.rki.de/DE/Content/Infekt/EpidBull/Merkblaetter/Ratgeber_LymeBorreliose.html;jsessionid=9873959E2F9E153D00A1B83E5276EB18.internet101 (abgerufen am 05.03.2021).

Rubel F, Brugger K, Monazahian M, Habedank B, Dautel H, Leverenz S, Kahl O (2014) The first German map of georeferenced ixodid tick locations. Parasit Vectors 7(477).

Schwarz A, Maier WA, Kistemann T, Kampen H (2009) Analysis of the distribution of the tick Ixodes ricinus L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. Int J Hyg Environ Health 212(2009), 87–96.

Semenza JC, Menne B (2009) Climate change and infectious diseases in Europe. The Lancet Infectious Diseases 9 (6), 365–375.

Soleng A, Edgar KS, Paulsen KM, Pedersen BN, Okbaldet YB, Skjetne IEB, Gurung D, Vikse R, Andreassen ÂK (2018) Distribution of Ixodes ricinus ticks and prevalence of tick-borne encephalitis virus among questing ticks in the Arctic Circle region of northern Norway. Ticks Tick Borne Dis 9(1), 97–103.

Sprong H, Azagi T, Hoornstra D, Nijhof AM, Knorr S, Baarsma ME, Hovius JW (2018) Control of Lyme borreliosis and other Ixodes ricinus-borne diseases. Parasit Vectors 11(145).

Stevens LK, Kolivras KN, Hong Y, Thomas VA, Campbell JB, Prisley SP (2019) Future lyme disease risk in the south-eastern United States based on projected land cover. Geospat Health 14(751), 153–162.

StIKo Vet – Ständige Impfkommission Veterinärmedizin (2019) Leitlinie zur Impfung von Kleintieren, 4. Auflage. URL: https://www.openagrar.de/servlets/MCRFileNodeServlet/openagrar_derivate_00020078/Impfleitlinie-Kleintiere_2019-02-01.pdf (abgerufen am 05.03.2021).

Strnad M, Grubhoffer L, Rego ROM (2020) Novel targets and strategies to combat borreliosis. Appl Microbiol Biotechnol 104(5), 1915–1925.

Tokarevich NK, Tronin AA, Blinova OV, Buzinov RV, Boltenkov VP, Yurasova ED, Nurse J (2011) The impact of climate change on the expansion of Ixodes persulcatus habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. Glob Health Action 4(8448).

© urheberrechtlich geschützt, mit freundlicher Genehmigung von
MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021

Van Oort BEH, Hovelsrud GK, Risvoll C, Mohr CW, Jore S (2020) A Mini-Review of Ixodes Ticks Climate Sensitive Infection Dispersion Risk in the Nordic Region. Int J Environ Res Public Health 17(15).

Watts N, Adger WN, Agnolucci, P, Blackstock J, Byass P, Cai W, Chaytor S, Colbourn T, Collins M, Cooper A, Cox PM, Depledge J, Drummond P, Ekins P, Galaz V, Grace D, Graham H, Grubb M, Haines A, Hamilton I, Hunter A, Jiang X, Li M, Kelman I, Liang L, Lott M, Lowe R, Luo Y, Mace G, Maslin M, Nilsson M, Oreszczyn T, Pye S, Quinn T, Svensdotter M, Venevsky S, Warner K, Xu B, Yang J, Yin Y, Yu C, Zhang Q, Gong P, Montgomery H, Costello A (2015) Health and climate change: Policy responses to protect public health. Lancet 386(10006), 1861–1914.

Wilking H, Stark K (2014) Trends in surveillance data of human Lyme borreliosis from six federal states in eastern Germany, 2009–2012. Ticks Tick Borne Dis 5(3), 219–224.

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.

Martín Lotto-Batista, M.Sc.

2016 Abschluss in Biologie an der Universidad Nacional de Córdoba, Argentinien und 2018 M.Sc. in Epidemiologie an der London School of Hygiene and Tropical Medicine. Seit 2019 Promotion am Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) in Braunschweig. Ein Schwerpunkt seiner Arbeit ist die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen Klima und Infektionskrankheiten.

Christiane Behrens, M.Sc.

2016–2020 Studium der Physiotherapie an der HAWK Hildesheim und Public Health an der Medizinischen Hochschule Hannover. Seit 2020 wissenschaftliche Mitarbeiterin im Forschungsbereich Epidemiologie des HZI in Braunschweig.

Dr. med. Stefanie Castell, M.Sc.

Medizinstudium (1993–2000) und Promotion in Tübingen bzw. Berlin. Fachärztin für Physikalische und Rehabilitative Medizin seit 2009. Master in Epidemiologie 2011 (Berlin). Tätigkeit für das Deutsche Zentralkomitee zur Bekämpfung der Tuberkulose (DZK) bis 2012, seither wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Abteilung für Epidemiologie des HZI in Braunschweig.

© urheberrechtlich geschützt , mit freundlicher Genehmigung von MWV Medizinisch Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft 2021