

Durch Vektoren übertragene Zoonoseerreger in Zeiten des Klimawandels

Der bayerische Forschungsverbund VICCI stellt sich vor

von Cornelia Silaghi¹, C. Baessler², U. Baum⁷, C. Beierkuhnlein³, P. Bleichert⁴, C. Bogdan⁵, P. Bozem⁶, J. Brenauer⁷, V. Fingerle⁷, D. Fischer³, S. Häberlein⁵, W. Hautmann⁸, C. Klier⁷, C. Klinc⁸, B. Liebl⁹, M. Lüpke⁶, J. Müller², A. Osterberg⁴, K. Pfister¹, S. Poljak¹, T. Praßler⁷, H. Rinder⁶, S. Schex⁴, A. Sing⁷, L. Teußer⁷, B. Thoma⁴, S. Thomas³, M. Wildner⁸ und S. Essbauer⁴

Ein Forschungsverbund in Bayern analysierte erstmals die komplexe Wechselwirkung zwischen der Verbreitung von Zoonoseerregern, deren Vektoren und aktuellen Klimadaten, um so das Risiko für ein mögliches Auftreten der entsprechenden Erkrankungen in verschiedenen Gebieten Bayerns abschätzen zu können.

Immer häufiger machen in Deutschland bislang unbekannte Erreger als sogenannte „emerging infectious agents“ Schlagzeilen. Da etwa zwei Drittel dieser „emerging“, also „neu aufkommenden“ Pathogene, Zoonoseerreger sind, ist dieses Thema für alle Sparten der Medizin (Veterinär- und Humanmedizin) brisant und stellt Mediziner ebenso wie Biologen, Klimaforscher und Statistiker vor neue Herausforderungen. Viele dieser Erreger schlummern noch unentdeckt in der Natur. Besonders durch Vektoren übertragene Infektionserreger, z. B. durch Zecken übertragene Rickettsien, durch Sandmücken übertragene Leishmanien, durch Nagetiere übertragene Hantaviren oder das durch Mücken übertragene West-Nil-Virus scheinen in Europa auf dem Vormarsch zu sein (**Abb. 1**). Ursachen hierfür sind u. a. Veränderungen von Lebensräumen z. B. durch Renaturierungsprozesse, aber auch der Trend zu vermehrten Freizeitaktivitäten im Outdoor-Bereich. Die zunehmende Globalisierung stellt durch den Transport, Export und Import von Tieren eine wichtige Quelle für das Einwandern neuer Vektorenarten und neuartiger Erreger dar. Seit einiger Zeit wird außerdem der Einfluss des Klimawandels auf das Auftreten neuer Infektionskrankheiten diskutiert.

Durch Nagetiere übertragene Erkrankungen

Hantaviren als Zoonoseerreger

Freilebende Nagetiere im Wald und auf dem Feld haben bei Freilandtierhaltungen, auf land- und forstwirtschaftlichen Flächen, auf Höfen und in Stallungen engen Kontakt zu Haus- und Nutztieren und zum Menschen. In Deutschland sind Hantaviren wichtige Zoonoseerreger, die durch Nagetiere übertragen werden, wobei Tierärzte, Pferdepfleger, Schädlingsbekämpfer, Landwirte, Waldarbeiter und Soldaten zu den Risikogruppen für eine Hantavirus-erkrankung zählen [1,2]. Hantaviren kommen weltweit vor. Es gibt verschiedene Viruspezies, die von infizierten Nagetieren oder anderen Kleinsäugetieren mit dem Speichel, Urin oder Kot ausgeschieden werden. Das durch die Rötelmaus übertragene Puumalavirus (PUUV) ist in Deutschland besonders bedeutend (seit 2001 im Durchschnitt etwa 185 Erkrankungsfälle pro Jahr). Der Mensch infiziert sich indirekt durch Aerosole (z. B. durch das Einatmen kontaminierter Stäube), selten auch durch direkten Kontakt (z. B. Bissverletzungen). Letzteres ist bei der Schädnerbekämpfung als Übertragungsweg zu beobachten. Entsprechend sollte diese Tätigkeit nur von qualifiziertem Personal unter Beach-

¹ Lehrstuhl für Vergleichende Tropenmedizin u. Parasitologie der Ludwig-Maximilians-Universität München

² Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, Grafenau

³ Lehrstuhl für Biogeografie der Universität Bayreuth

⁴ Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, Abteilung Virologie & Rickettsiologie, München

⁵ Lehrstuhl für Mikrobiologie u. Infektionsimmunologie, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

⁶ Sachbereich Parasitologie, Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), Oberschleißheim

⁷ Nationales Referenzzentrum für Borrelien, LGL, Oberschleißheim

⁸ Sachbereich Epidemiologie, LGL, Oberschleißheim

⁹ LGL, Oberschleißheim



Abb 1: Zwei typische Überträger zoonotischer Erkrankungen: (A) Gemeiner Holzbock, *Ixodes ricinus*, (B) Gelbhalsmaus, *Apodemus flavicollis*.

Der Forschungsverbund VICCI

Im Sommer 2008 hat sich in Bayern unter Federführung des Nationalen Referenzzentrums für Borrelien (Leiter Dr. Volker Fingerle) ein Netzwerk aus Wissenschaftlern unterschiedlicher Expertise von Universitäten (LMU München, FAU Erlangen, Universität Bayreuth), Landesbehörden (Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit, LGL, Oberschleißheim) und einer Ressortforschungseinrichtung (Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, IMB, München) formiert, um Fragestellungen zum Einfluss des Klimawandels auf das Vorkommen von neuen oder neuartigen Erregern in Bayern zu untersuchen. Dieser Forschungsverbund „VICCI“ (Vector-borne Infectious diseases in Climate Change Investigations) hat sich zum Ziel gesetzt, in Feldstudien belastbare Daten zu Prävalenz und Dynamik von

- Borrelien, Anaplasmen, Babesien und Rickettsien in Zecken,
- Hantaviren und Rickettsien in Kleinsäugetern,
- Leishmanien in Sandmücken und Kleinsäugetern zu erheben sowie
- Klimaprojektionen zu erstellen und die gewonnenen Daten in einer Risikoanalyse zusammenzuführen (Tab. 1, s. S. 354).

Dabei beschäftigt sich ein Teil des Verbundes mit der Erhebung der Daten an ausgewählten über ganz Bayern verteilten Standorten (Abb. 2), welche zentral im Datenzentrum (LGL) zusammengeführt werden. In Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl für Biogeografie, Bayreuth, und dem Sachbereich Epidemiologie am LGL erfolgt eine verbundübergreifende Risikoanalyse für ausgesuchte human- und tierpathogene Erreger und deren Wirtsorganismen (z. B. für Leishmanien und Sandmücken).

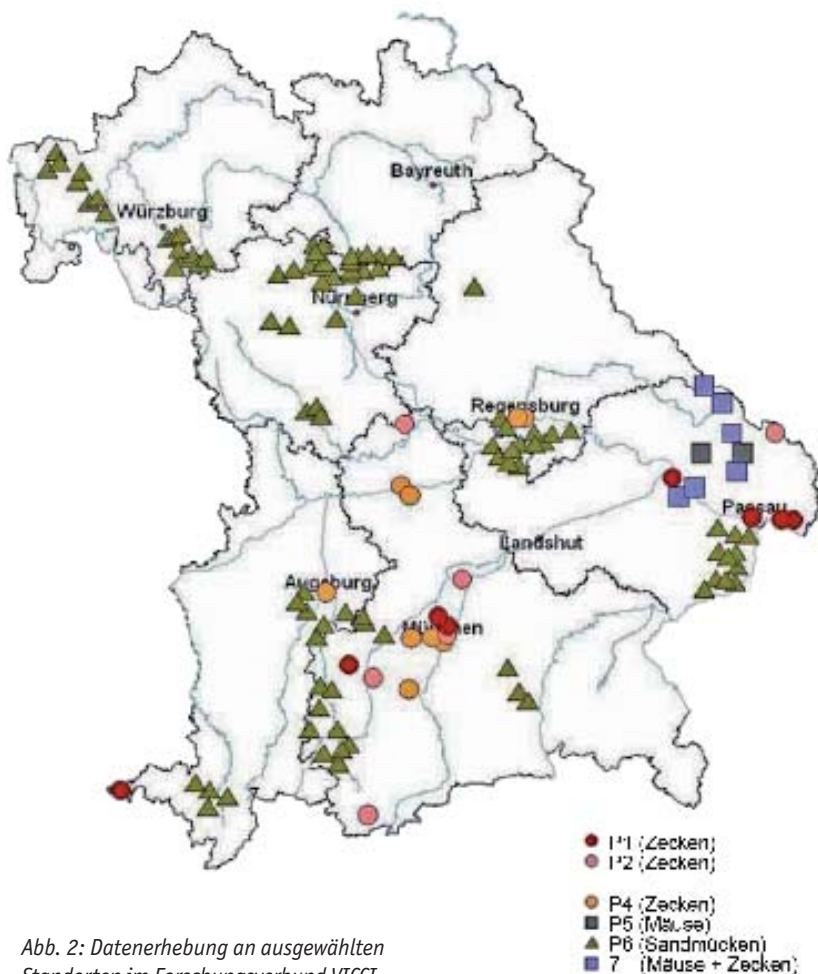


Abb. 2: Datenerhebung an ausgewählten Standorten im Forschungsverbund VICCI

Karte erstellt mit Regiograph

tung von Expositionsprophylaxemaßnahmen durchgeführt werden.

Geeignete Vorbeugemaßnahmen gegen Nagetiere sind z. B. die Lagerung von Futtermitteln in dicht schließenden Behältern oder konsequente Hygienemaßnahmen im Haus- und Hofbereich. Bei Massenbefall mit Nagetieren sollte immer sachkundige Hilfe durch professionelle Schädlingsbekämpfer in Anspruch genommen werden, um einen nachhaltigen Erfolg sicherzustellen.

Die Populationsdichte von Nagetieren variiert bei einigen Arten im Rhythmus von etwa zwei bis fünf Jahren. Faktoren, die eine Massenvermehrung im Folgejahr begünstigen können, sind bislang unzureichend untersucht. Es wird postuliert, dass günstige Witterungsbedingungen und ein großes Nahrungsangebot (sog. „Mastjahre“) die Populationsdichte der Nagetiere, damit die Prävalenz von Hantaviren und somit die Anzahl von Humaninfektionen positiv beeinflussen [3].

Die Hantavirus-Erkrankung verläuft beim Menschen häufig mild oder grippeähnlich, kann aber auch zu schweren Funktionsstörungen der Nieren bis hin zu vorübergehendem Nierenversagen führen [1,4]. Bei Haus- und Nutztieren gibt es keine Hinweise auf klinische Infektionen, obwohl Hantaviren serologisch in vielen Tierspezies z. B. Hunden, Katzen, Hasen und Rindern nachgewiesen werden konnten [5].

Um den Einfluss von klimatischen und ökologischen Faktoren auf die Populationsdynamik von Reservoirnagetieren, deren Hantavirus-Durchseuchung und somit eventuell auch das Auftreten von humanen Hantavirusinfektionen besser zu verstehen, stehen in einem VICCI-Projektteil am IMB in Zusammenarbeit mit dem Nationalpark Bayerischer Wald Nagetiere im Vordergrund. Dabei wurden bislang 661 Kleinsäuger von 2008 bis 2010 entlang eines Höhengradienten von 300 bis 1450 m ü. NN an 22 Standorten gefangen und untersucht (Abb. 3). Im Jahr 2010 war die Anzahl der eingefangenen Tiere im Vergleich zu den beiden Vorjahren siebenfach [3,6]. Es konnte das Puumalavirus mit einer Prävalenz bis zu 30 Prozent in Rötelmäusen nachgewiesen werden. Zudem wurden mittels aufwändiger statistischer Analysen von 33 klimatischen, ökologischen und tierbezogenen Variablen festgestellt, dass das Vorkommen des Erregers im Nationalpark Bayerischer Wald u. a. von der maximalen Wintertemperatur, Sonneneinstrahlung, der Diversität der dort vorkommenden Tiere und dem Auftreten einer dichten Krautschicht abhängt (Abb. 4). Aus den gewonnenen Daten lassen sich Risikokarten für humane Hantavirusinfektionen erstellen.

Eine Prävention einer Hantavirusinfektion erfolgt am besten durch Vermeidung des Kontaktes zu Nagetieren und deren Ausscheidungen (s. Merkblätter des Robert-Koch-Instituts www.rki.de/DE/Content/InfAZ/H/Hantavirus/Merkblatt.html, des Nationalen Konsiliarlabors für Hantaviren [352](http://www.charite.de/virolo-</p>
</div>
<div data-bbox=)



Abb. 3: Mäusefang mit Sherman-Lebendfallen.



Fotos: Forschungsverbund VICCI

Abb. 4: Datalogger zur Aufzeichnung von lokalen Wetterdaten wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Taupunkt.

gie/hantapraev.pdf oder des Referenzlabors für Hantaviren www.fli.bund.de/fileadmin/dam_uploads/INNT/Hantavirus-Informationssblatt_20100923.pdf).

Durch Zecken übertragene Erkrankungen

In Mitteleuropa ist der gemeine Holzbock *Ixodes ricinus* die häufigste Zeckenart. Dieser kommt ubiquitär vor und ist aufgrund seines

großen Wirtsspektrums (>300 Wirbeltierarten inkl. Mensch sind bekannt) als Vektor von Pathogenen besonders bedeutsam. Seine bevorzugten Habitate sind neben Wald- und Wegrändern auch öffentliche Gärten und Parkanlagen. Milde Winter lassen den Holzbock immer öfter ganzjährig in Erscheinung treten [7]. Bei einer systematischen Erhebung im Rahmen von VICCI in neun bayerischen Parkanlagen (München,

Regensburg, Ingolstadt, Augsburg, Berg) wurden über 10 000 *I. ricinus*-Zecken während des gesamten Untersuchungszeitraums von April bis September der Jahre 2009 und 2010 durch Abflagen der Vegetation gesammelt (Abb. 5) [9]. Die im Folgenden vorgestellten Ergebnisse zu ausgewählten Krankheitserregern wurden aus der Untersuchung von insgesamt knapp 6000 *I. ricinus* erzielt [8,9].

Tab. 1: Übersicht über die bearbeiteten Projekte und die teilnehmende Institutionen

Einrichtung	Abteilung (Ansprechpartner)	Titel des Projektes	Erreger	Vektor
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit (LGL), Oberschleißheim	Nationales Referenzzentrum (NRZ) für Borrelien (Dr. Christiane Klier) christiane.klier@lgl.bayern.de	Prospektive Studie zur Entwicklung von <i>Borrelia burgdorferi</i> s.l. Spezies in <i>Ixodes ricinus</i> in Bayern	Borrelien	Zecken
LGL, Oberschleißheim	Sachbereich Parasitologie (PD Dr. Heinz Rinder) Heinz.Rinder@lgl.bayern.de	Modellierung des Vorkommens zeckenübertragener Krankheitserreger in bayerischen Naherholungsgebieten unter Einbeziehung lokaler Umweltfaktoren und kleinräumiger Variationen der Befallsraten in Zecken	Borrelien, Anaplasmen	Zecken
Ludwig-Maximilians-Universität München (LMU)	Lehrstuhl für Vergleichende Tropenmedizin und Parasitologie (Dr. Cornelia Silaghi) cornelia.silaghi@tropa.vetmed.uni-muenchen.de	Risikoabschätzung zeckenübertragener Infektionskrankheiten in urbanen Parkanlagen Bayerns	Rickettsien, Anaplasmen, Babesien	Zecken
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr (IMB), München, Nationalpark-Verwaltung Bayerischer Wald	Abteilung Virologie & Rickettsiologie (PD Dr. Sandra Eßbauer) sandraessbauer@bundeswehr.org	Studie zum Vorkommen Nagetier-übertragener Zoonosen entlang eines Klimagradienten im Nationalpark Bayerischer Wald	Hantaviren, Rickettsien	Wildkleinsäuger
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen	Lehrstuhl für Mikrobiologie und Infektionsimmunologie (Prof. Dr. Christian Bogdan) christian.bogdan@uk-erlangen.de	Autochthone Leishmaniose in Bayern: Untersuchungen zur Vektorprävalenz und zur Existenz tierischer Reservoirs	Leishmanien	Sandmücken
Universität Bayreuth	Lehrstuhl für Biogeografie (Prof. Dr. Carl Beierkuhnlein) carl.beierkuhnlein@uni-bayreuth.de	Biogeografische Analyse gesundheitsrelevanter Arten und Prognose ihres Ausbreitungspotenzials in Bayern unter veränderten künftigen Klimabedingungen	Leishmanien, Chikungunya, Dengue, West-Nil	Sandmücken, Tigermücke
LGL, Oberschleißheim	NRZ für Borrelien (Dr. Christiane Klier s.o., Thomas Prassler) Thomas.Prassler@lgl.bayern.de	Querschnittsprojekt Datenzentrum, Verbundorganisation		
LGL, Oberschleißheim	Sachbereich Epidemiologie (Dr. Christina Klinc) Christina.Klinc@lgl.bayern.de	Bevölkerungsbezogene epidemiologische Risikoabschätzung mit Schwerpunkt Lyme-Borreliose, Hantavirus-Erkrankungen und Leishmaniose		



Abb. 5: Flaggen von Zecken mittels Fahnen.



Abb. 6: CDC-Lichtfalle zum Sammeln von Sandmücken und typisches Gelände für den Sandmückenfang.

Fotos: Forschungsverbund VICCI

reszenztest) auf Leishmania-Antikörper bzw. durch Kulturmethoden auf vermehrungsfähige Leishmanien untersucht. Die Tiere stammten von deutschen Elterntieren und hatten selbst Deutschland nie verlassen, sodass eine importierte Leishmaniose ausgeschlossen werden konnte. Die Proben aller untersuchten Tiere, einschließlich eines symptomatischen Pferdes, waren negativ.

Klimaprojektionen

Regionale Klimamodelle stellen ein gutes Hilfsmittel dar, um die künftige Verbreitung von Krankheitsüberträgern und deren Pathogene abschätzen zu können [28,29]. Klimatische Modellprojektionen, die auf vom IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) entwickelten Emissionsszenarien klimawirksamer Treibhausgase beruhen, sind inzwischen sehr belastbar bezüglich der zu erwartenden Temperaturveränderungen, zeigen jedoch noch starke Ungewissheit hinsichtlich der erwarteten Niederschlagsveränderungen. Für Sandmücken (*Phlebotomus* spp.) als Vektoren von Leishma-

nien ist die zu erwartende Erwärmung im 21. Jahrhundert relevant (Abb. 7). Nachdem Sandmücken in Europa bislang als auf mediterrane Gebiete beschränkt galten, wurden in jüngster Zeit Vorkommen in Südwestdeutschland nachgewiesen [30]. Vermutlich werden Sandmücken im Zuge klimatischer Veränderungen ihre Verbreitungsgebiete nach Norden ausweiten.

Für Risikoanalysen werden dokumentierte Fundorte von Sandmückenarten mit aktuellen klimatischen Bedingungen korreliert. Die ermittelte bioklimatische Nische der jeweiligen Art wird in einem zweiten Schritt auf die zu erwartenden klimatischen Bedingungen in Bayern übertragen, wodurch Gebiete künftiger klimatischer Eignung für eine Etablierung der Sandmücken ermittelt werden können. Die Ergebnisse lassen erwarten, dass für Phlebotomusarten mit westlichem Verbreitungsschwerpunkt die klimatischen Anforderungen innerhalb der nächsten Dekade im Westen Bayerns und im Alpenvorland erfüllt sein könnten. Für Sandmückenarten mit einem bisherigen Verbreitungsschwerpunkt in

Südost-Europa werden die Bedingungen in Bayern vermutlich erst in der zweiten Jahrhunderthälfte geeignet sein. Es ist davon auszugehen, dass die Alpen als klimatische Ausbreitungsbarriere insbesondere die direkte natürliche Ausbreitung von Sandmückenarten mit südöstlichem Verbreitungsschwerpunkt erschweren werden [31,32].

Die Klimaprojektionen lassen darauf schließen, dass innerhalb Bayerns die Temperatursprüche der Leishmanien für eine Etablierung und dauerhaften Ansiedlung voraussichtlich erst in der zweiten Jahrhunderthälfte in Unterfranken und im Alpenvorland erfüllt sein könnten [33]. Zusätzlich gilt zu beachten, dass die vermehrte Einfuhr von mit Leishmanien infizierten Hunden aus südlichen Ländern ein beträchtliches Erregerreservoir bereitstellt [34].

Fazit

Neue Forschungsansätze zu Erkrankungen, die durch Vektoren und Nagetiere übertragen werden, können nur in einem engen interdisziplinären Diskurs verschiedener Fachrichtun-

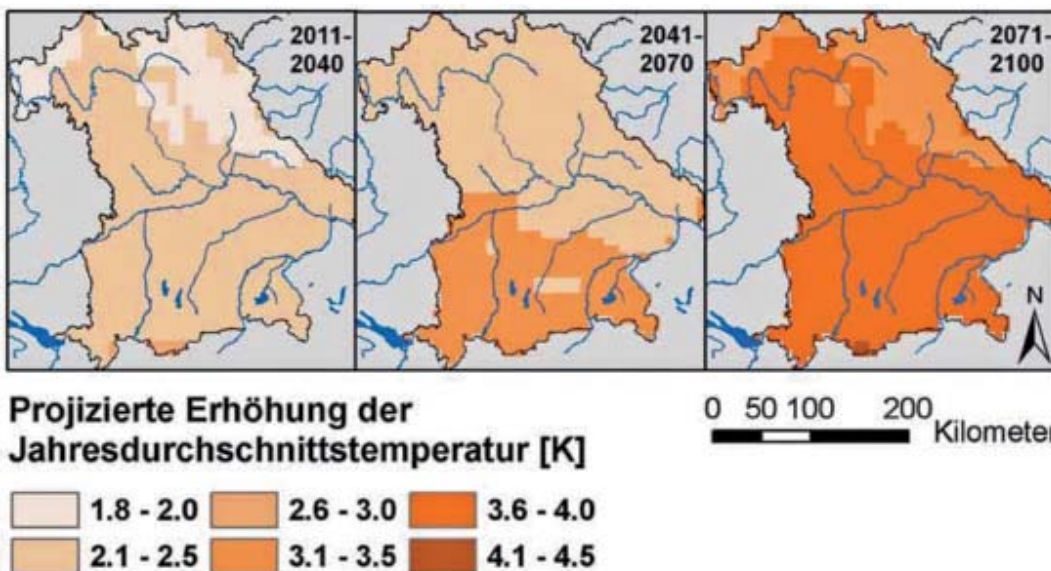


Abb. 7: Projizierte Erwärmung für Bayern im 21. Jahrhundert im Vergleich zu den klimatischen Verhältnissen Ende des 20. Jahrhunderts. Dargestellt ist der Anstieg der Jahresdurchschnittstemperatur basierend auf Daten des Regionalen Klimamodells REMO und unter Zugrundelegen des A1B Emissionsszenarios (IPCC 2007). Demzufolge ist für Bayern eine Temperaturerhöhung bis zum Ende des Jahrhunderts um bis zu 4,5 Kelvin zu erwarten. Insbesondere die Alpen und das Alpenvorland werden von diesem Temperaturanstieg betroffen sein.

Grafik: Forschungsverbund VICCI

gen unter Einbeziehung der Veterinär- und Humanmedizin realisiert werden. Nur durch ein besseres Verständnis der in Deutschland vorkommenden Zoonosen können effektive Präventionsmaßnahmen für die Tierhaltung und Bevölkerung abgeleitet werden. So zeigen die Ergebnisse der in diesem Forschungsverbund durchgeführten Studien deutlich, dass ähnliche Studien bundeslandübergreifend für Gesamt-Deutschland stattfinden sollten.

Danksagung

Die Autoren danken allen Helfern/-innen in den beschriebenen Projekten, ganz besonders den tatkräftigen Doktoranden/-innen, Masterstudenten/-innen und Feldhelfern/-innen, ohne die die Realisierung dieses Verbundprojektes nicht möglich gewesen wäre. Der Forschungsverbund VICCI wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit von 7/2008 bis 12/2011 gefördert (Projekt 08-18).

Anschrift der korrespondierenden Autorin: Dr. Cornelia Silaghi, Lehrstuhl für Vergleichende Tropenmedizin und Parasitologie, Veterinärwissenschaftliches Department, Ludwig-Maximilians-Universität, Leopoldstr. 5, 80802 München, cornelia.silaghi@tropa.vetmed.uni-muenchen.de

Weitere Informationen: www.lgl.bayern.de/das_lgl/forschung/forschung_interdisziplinair/fp_vicci_index.htm

Literatur

- [1] Ulrich, R; Meisel, H; Schütt, M; Schmidt, J; Kunz, A; Klempa, B; Niedrig, M; Kimmig, P; Pauli, G; Krüger, DH; Koch, J (2004): Verbreitung von Hantavirus-Infektionen in Deutschland. Bundesgesundheitsblatt, Gesundheitsforschung, Gesundheitsschutz, 47: 661–670.
- [2] Rieger, M; Nübling, M; Hofmann, F (2005): Berufliche Gefährdung der Landwirte durch Hantaviren. Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin, Fb1036.
- [3] Ettlinger, J; Hofmann, J; Enders, E; Teward, F; Oehme, RM; Rosenfeld, UM; Sheikh Ali, H; Schlegel, M; Essbauer, S; Osterberg, A; Jacob, J; Reil, D; Klempa, B; Ulrich, RG; Krüger, DH: Multiple synchronous Puumala virus outbreaks, Germany, 2010. Emerg Inf Dis (eingereicht).
- [4] Essbauer, S; Schmidt, J; Conraths, FJ; Friedrich, R; Koch, J; Hautmann, W; Pfeffer, M; Wölfel, R; Finke, J; Dobler, G; Ulrich, R (2006): A new Puumala hantavirus subtype in rodents associated with an outbreak of Nephropathia epidemica in South-East Germany in 2004. Epidemiol Infect, 134: 1333–1344.
- [5] Zeier, M; Handermann, M; Bahr, U; Rensch, B; Müller, S; Kehm, R; Muranyi, W; Darai, G (2005): New ecological aspects of hantavirus infection: a change of a paradigm and a challenge of prevention – a review. Virus Genes, 30: 157–180.
- [6] Essbauer, S; Klinc, C; von Wissmann, N; Hautmann, W; Jacob, J; Faber, M; Stark, K; Schmidt-Chanasit, J; Krüger, DH; Ulrich, R; Triebenbacher, C (2010): Starker Anstieg von Hantavirus-Infektionen. LWF aktuell, 77: 52–53.
- [7] Dautel, H; Dippel, C; Kämmer, D; Werkhausen, A; Kahl, O (2008): Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest. Int J Med Microbiol, 298: 50–54.
- [8] Schorn, S; Pfister, K; Reulen, H; Mahling, M; Manitz, J; Thiel, C; Silaghi, C (2011): Prevalence of *Anaplasma phagocytophilum* in *Ixodes ricinus* in Bavarian public parks, Germany. Ticks Tick Borne Dis, 2: 196–203.
- [9] Schorn, S; Pfister, K; Reulen, H; Mahling, M; Silaghi, C (2011): Occurrence of *Babesia* spp., *Rickettsia* spp. and *Bartonella* spp. in *Ixodes ricinus* in Bavarian public parks, Germany. Parasite Vectors, 4: 135.
- [10] Homer, MJ; Aguilar-Delfin, I; Telford, SR, 3rd; Krause, PJ; Persing, DH (2000): Babesiosis. Clin Microbiol Rev, 13: 451–469.
- [11] Häselbarth, K; Tenter, AM; Brade, V; Krieger, G; Hunfeld, KP (2007): First case of human babesiosis in Germany – Clinical presentation and molecular characterisation of the pathogen. Int J Med Microbiol, 297: 197–204.
- [12] Hildebrandt, A; Hunfeld, KP; Baier, M; Krumbholz, A; Sachse, S; Lorenzen, T; Kiehnopf, M; Fricke, HJ; Straube, E (2007): First confirmed autochthonous case of human *Babesia microti* infection in Europe. Eur J Clin Microbiol Infect Dis, 26: 595–601.
- [13] Woldehiwet, Z (2010): The natural history of *Anaplasma phagocytophilum*. Veterinary Parasitology, 167: 108–122.
- [14] Doudier, B; Olano, J; Parola, P; Brouqui, P (2010): Factors contributing to emergence of *Ehrlichia* and *Anaplasma* spp. as human pathogens. Vet Parasitol, 167: 149–154.
- [15] Fingerle, V; Goodman, JL; Johnson, RC; Kurtti, TJ; Munderloh, UG; Wilske, B (1997): Human granulocytic ehrlichiosis in southern Germany: increased seroprevalence in high-risk groups. J Clin Microbiol, 35: 3244–3247.
- [16] Kohn, B; Galke, D; Beelitz, P; Pfister, K (2008): Clinical features of canine granulocytic anaplasmosis in 18 naturally infected dogs. J Vet Intern Med, 22: 1289–1295.
- [17] Silaghi, C; Liebisch, G; Pfister, K (2011): Genetic variants of *Anaplasma phagocytophilum* from 14 equine granulocytic anaplasmosis cases. Parasite Vectors, 4: 161.
- [18] Dobler, G; Wölfel, R (2009): Typhus and other rickettsioses: emerging infections in Germany. Dtsch Arztebl Int, 106: 348–354.
- [19] Silaghi, C; Hamel, D; Thiel, C; Pfister, K; Pfeffer, M (2011): Spotted fever group rickettsiae in ticks, Germany. Emerg Infect Dis, 17: 890–892.
- [20] Rieg, S; Schmoltd, S; Theilacker, C; de With, K; Wolfel, S; Kern, WW; Dobler, G (2011): Tick-borne lymphadenopathy (TIBOLA) acquired in Southwestern Germany. BMC Infect Dis, 11: 167.
- [21] Wölfel, S; Mertens, M; Speck, S; Essbauer, S; Ulrich, RG; Wölfel, R; Dobler, G (in Vorbereitung): Seroprevalence of IgG against Rickettsiae of the Spotted Fever Group in Forestry Workers in State Brandenburg, Eastern Germany. Ticks and Tickborne Diseases
- [22] Parola, P; Davoust, B; Raoult, D (2005): Tick- and flea-borne rickettsial emerging zoonoses. Vet Res, 36: 469–492.
- [23] Pfeffer, M (2008): Rickettsia – a group of neglected pathogens. 2nd Canine Vector Borne Disease (CVBD) Symposium: 82–87.
- [24] Schex, S; Dobler, G; Riehm, J; Müller, J; Essbauer, S (2011): *Rickettsia* spp. in wild small mammals in Lower Bavaria, South-Eastern Germany. Vector Borne Zoonotic Dis, 11: 493–502.
- [25] Bogdan, C; Schönihan, G; Bañuls, A-L; Hide, M; Pratlong, F; Lorenz, E; Rölinghoff, M; Mertens, R (2001): Visceral Leishmaniasis in a German Child Who Had Never Entered a Known Endemic Area: Case Report and Review of the Literature. Clin Inf Dis, 32: 302–306.
- [26] Koehler, K; Stechele, M; Hetzel, U; Domingo, M; Schönihan, G; Zahner, H; Burkhardt, E (2002): Cutaneous leishmaniasis in a horse in southern Germany caused by *Leishmania infantum*. Vet Parasitol, 109: 9–17.
- [27] Bogdan, C (in press): Leishmaniasis in rheumatology, haematology and oncology: epidemiological, immunological and clinical aspects and caveats. Annals of Rheumatic Diseases
- [28] Jacob, D (2008): Short communication on regional climate change scenarios and their possible use for impact studies on vector-borne diseases. Parasitol Res, 103 (S1): 3–6.
- [29] Fischer, D; Thomas, S; Beierkuhnlein, C (2010): Climate change effects on vector-borne diseases in Europe. Nova Acta Leopoldina, 112: 99–107.
- [30] Naucke, T; Menn, B; Massberg, D; Lorentz, S (2008): Sandflies and leishmaniasis in Germany. Parasitol Res, 103 (S1): 65–68.
- [31] Fischer, D; Moeller, P; Thomas, SM; Naucke, TJ; Beierkuhnlein, C (2011): Combining climatic projections and dispersal ability: a method for estimating the responses of sandfly vector species to climate change. PLoS Negl Trop Dis, 5: e1407.
- [32] Fischer, D; Thomas, S; Beierkuhnlein, C (2011): Modelling climatic suitability and dispersal for disease vectors: the example of a phlebotomine sandfly in Europe. Procedia Environmental Sciences, 7: 164–169.
- [33] Fischer, D; Thomas, SM; Beierkuhnlein, C (2010): Temperature-derived potential for the establishment of phlebotomine sandflies and visceral leishmaniasis in Germany. Geospatial Health, 5: 59–69.
- [34] Menn, B; Lorentz, S; Naucke, TJ (2010): Imported and travelling dogs as carriers of canine vector-borne pathogens in Germany. Parasit Vectors, 3: 34.

Risikoanalyse im Bereich Klimawandel

Eine hohe und komplexe Anzahl von Variablen beeinflusst Infektionsketten. Bei der Vorhersage von Klimadaten und Veränderungen von Ökosystemen und Gesellschaft besteht nach wie vor Unsicherheit. Daher stellt die Risikoanalyse im Bereich Klimawandel und vektorübertragener Infektionskrankheiten eine große Herausforderung dar.

Zentrales Ziel aus bevölkerungsbezogener und infektionsepidemiologischer Sicht ist die Identifizierung von Risikopopulationen und Risikogebieten sowie frühzeitige Prävention zur Unterbrechung der Infektionskette. Neben Forschung zum detaillierten Verständnis von Einflussgrößen und Wechselwirkungen in der Infektionskette infolge des Klimawandels sind v. a. Frühwarnsysteme und die Surveillance von Vektoren, Reservoirs, Pathogenen und humanen Krankheitsfällen ratsam. Aufgrund der bisher erzielten Befunde erscheint es unabdingbar, die Forschung weiter zu intensivieren. Das Wechselspiel zwischen Erregern, Vektoren und Wirten (wie dem Menschen) ist äußerst komplex und die Forschung steht bezüglich der zu erwartenden Konsequenzen des Klimawandels gerade in diesem Bereich erst am Anfang.