

3.4 Überträger von Krankheitserregern in Zeiten des Klimawandels am Beispiel der Stechmücken und Zecken in Deutschland

ALJOSCHA KREß, JENS AMENDT & RUTH MÜLLER

Überträger von Krankheitserregern in Zeiten des Klimawandels am Beispiel der Stechmücken und Zecken in Deutschland: Der vorliegende Buchartikel baut auf dem Buch *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen* (LOZÁN et al. 2014) auf und beleuchtet neues Wissen sowie immer noch bestehende Wissenslücken im Themenfeld »Krankheitsüberträger in Zeiten des Klimawandels am Beispiel der Stechmücken und Zecken«. Eine im Zuge der globalen Erderwärmung erhöhte Jahresmitteltemperatur wird nicht nur die Populationswachstumsrate von einigen Zecken und Stechmücken erhöhen, sondern auch die saisonale Aktivität mancher Arten verlängern. Zudem wandern derzeit verstärkt neue Überträger von Krankheitserregern in Deutschland ein und treffen auf zunehmend klimatisch geeignete Gebiete. Die Abschätzung des medizinischen Risikos solcher durch Klimawandel begünstigten Änderungen ist derzeit noch ungewiss. Sowohl die Rolle der Biodiversität der Stechmücken für die Transmission von Erregern als auch die Interaktion von einheimischen und invasiven Stechmückenarten sowie die Bedeutung der Diversität von Zwischenwirtpopulationen für die Zecken-Virus Übertragungskette müssen noch weiter erforscht werden.

Carriers of pathogens in times of climate change using the example of mosquitoes and ticks in Germany:

The present book article strongly relies on the book *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen* (LOZÁN et al 2014) and aims to add new information and reports still existing knowledge gaps in the field of »disease vectors in times of climate change: mosquitoes and ticks«. In the context of global warming, an increased mean annual temperature may result in an increased population growth of mosquitoes and ticks, and may also prolong and strengthen their seasonal activities. In addition, new vector species currently invade Germany and increasingly encounter suitable climatic conditions. The assessment of the medical risks arising from climate-driven changes in vector biology and vector distribution is still uncertain. The role of biodiversity of mosquitoes for the transmission of pathogens, the competition between native and invasive mosquitoes as well as the importance of the diversity of intermediate host populations for the tick-associated virus transmission cycles still need to be further explored.

Insekten wie Gnizen, Kriebelmücken, Sandmücken, Fliegen, Wanzen, Läuse, Flöhe und Stechmücken sowie andere Gliederfüßer wie z.B. Zecken und Milben gehören zum Tierstamm Arthropoda und spielen weltweit eine enorme Rolle als Überträger von Krankheitserregern (=Vektoren). Dabei handelt es sich in der Regel um blutsaugende Parasiten, die bei der Nahrungsaufnahme und Stechakt Pathogene übertragen. Zu den durch Arthropoden übertragenen Pathogenen zählen Viren (sog. Arboviren [aus dem engl. arthropod borne virus] wie z.B. das Dengue-Virus oder das Usutu-Virus), Bakterien (z.B. Borrelien), Einzeller (z.B. Malaria auslösende Plasmodien) und Nematoden (z.B. der Herzwurm *Dirofilaria immitis*). Die von Tier zu Mensch übertragbaren Infektionskrankheiten werden mit dem Begriff Zoonose beschrieben. Man geht davon aus, dass in jedem Moment weltweit rund 200 Mio. Menschen unter einem klinisch manifestierten Verlauf solcher Krankheiten leiden (die Millionen von nicht diagnostizierten asymptomatischen Verläufen nicht eingerechnet) und jedes Jahr im Schnitt rund 725.000 Menschen an deren Folgen sterben. Dies sind rund 50% mehr Todesfälle als zusammengerechnet durch Mord, Krieg und Terror (GATESNOTES 2016). Unter den vielen Arthropoden, die eher eine veterinärmedizinische Problematik mit sich bringen, haben weltweit vor allem Stechmücken als Überträger von humanpathogenen Erregern eine überragende Bedeutung; in der nördlichen

Hemisphäre spielen jedoch auch immer mehr die Zecken eine nicht zu unterschätzende Rolle (Kap. 3.2.5 und 3.2.12 in LOZÁN et al. 2014).

Neuer Wein in alten Schläuchen? Über neue mögliche Krankheitsüberträger und -erreger

Zecken: In Deutschland kommen etwa ca. 20 Zeckenarten vor, allerdings stechen nicht alle den Menschen. Von den schon seit vielen Jahren in Deutschland verbreiteten Zeckenarten waren bislang nur drei Arten für den Menschen medizinisch relevant: die Taubenzecke *Argas reflexus*, die Igelzecke *Ixodes hexagonus* und der sogenannte Holzbock *Ixodes ricinus*. Für die aus medizinischer Sicht relevanteste Zeckenart *Ixodes ricinus* (DOBLER et al. 2014) ist belegt, dass sie a) sich immer weiter nach Norden ausbreitet, b) ihre jahreszeitliche Aktivität immer früher startet und länger anhält und die Art sich c) in immer größeren Höhen findet, die früher aufgrund der dort herrschenden Temperaturen zu kühl waren. Es ist naheliegend, darüber zu spekulieren, dass diese beschriebenen Muster unter anderem mit den ansteigenden Temperaturen im Rahmen des Klimawandels in Verbindung zu bringen sind (DAUTEL 2010). Die Taigazecke (*Ixodes persulcatus*), welche gefährlichere Serotypen des Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME)-Virus als der in Mitteleuropa vorkommenden Varianten übertragen kann, ist aus Russland kommend

gegenwärtig dabei, sich von Westen aus in Skandinavien zu verbreiten (Kap. 3.2.12 in LOZÁN et al. 2014, JAENSON et al. 2016). Auch hier scheint der Klimawandel dafür zu sorgen, dass die Zecke sich zunächst in die nördlichsten Regionen Russlands ausbreitete und so in die geographische Nähe Skandinaviens rückte. Der nächste Schritt, die Etablierung in Finnland, scheint nun gelungen zu sein.

Darüber hinaus können sich neuerdings Arten z.B. der Gattung *Dermacentor* bei uns halten, die früher in ihrer Verbreitung auf wärmere Regionen in Süd- und Südosteuropa beschränkt waren. Relativ neue Zeckenarten im mitteleuropäischen Raum sind die in den 1950er Jahren mit Tiertransporten aus dem Balkan eingeschleppte Schafzecke *Dermacentor marginatus* und die Auwaldzecke *Dermacentor reticulatus* – erstgenannte ist mittlerweile vor allem im süddeutschen Raum verbreitet und kann unter anderem als (Über) Träger des Q-Fieber auslösenden Bakteriums *Coxiella burnetii* fungieren. Allerdings wurde in Deutschland bislang eine solche Infektion noch nicht belegt. Die Auwaldzecke zeigt eine fleckenhafte Verteilung in Deutschland und kann Bakterien der Gattung *Rickettsia* übertragen, die wiederum für verschiedene Fiebererkrankungen verantwortlich sind (z.B. FÖLDVÁRI et al. 2016). Zum Teil sind bis zu 50% der *Dermacentor* Zecken mit *Rickettsien* infiziert. Im Gegensatz zu *Ixodes ricinus*, wo bisher nur *Rickettsia helvetica* nachgewiesen wurde, findet man bei *Dermacentor* mehrere *Rickettsien*-Arten. Neue Arbeiten belegen zudem erstmals die Übertragung des FSME-Virus durch *Dermacentor reticulatus* in Deutschland (DOBLER 2016). Doch das vollständige humanpathogene Potenzial dieser beiden Neuankommlinge ist bislang noch wenig untersucht.

Andere potenziell problematische Arten sind vor allem die gestreifte Zecke *Hyalomma marginatum* und die Braune Hundezecke *Rhipicephalus sanguineum*. Erstere ist vor allem in Asien und aktuell vermehrt im südöstlichen Europa anzutreffen und fungiert als Überträger des Krim-Kongo-Hämorrhagischen-Fieber-Virus, das eine schwere Erkrankung mit hämorrhagischem (Blutungen auslösend) Verlauf verursachen kann. Es gibt immer wieder Nachweise von *Hyalomma*-Zecken und zugehörigen Krankheitserregern in Mittel- und sogar Nordeuropa (KAMPEN et al. 2007, MOVILA et al. 2013). *Rhipicephalus sanguineum*, welche ursprünglich wahrscheinlich lediglich in Afrika beheimatet war, wird heute in weiten Teilen der Welt nachgewiesen und kommt in Europa im Mittelmeerraum vor. *Rhipicephalus sanguineum* hat vor allem veterinärmedizinische Bedeutung aufgrund der Übertragung von Bakterien der Gattung *Babesia*. Sie kann aber auch für den Menschen relevante Krankheitserre-

ger wie das Bhanja-Virus weitergeben. Auch der Erreger des Mittelmeerfleckfiebers *Rickettsia conorii* wird durch diese Zecke übertragen. Hunde stellen hier das tierische Reservoir dar.

Stechmücken: In Deutschland sind rund 50 Stechmückenarten bekannt. Einige gebietsfremde Stechmückenarten stellen ein großes Problem dar, da sie in der Lage sind, bislang für Deutschland nicht relevante, tropische Krankheitserreger zu übertragen oder Erreger effektiver als einheimische Arten zu übertragen (Bsp. Japanische Enzephalitis Virus, West Nil Virus). Die Stechmückenarten *Aedes koreicus* und *Aedes atropalpus* wurden in Norditalien und Belgien bzw. den Norditalien, Niederlande und Frankreich gefunden und werden wahrscheinlich unter Klimawandelbedingungen in Deutschland einwandern. Für beide Stechmückenarten wurde im Labor gezeigt, dass sie das Japanische Enzephalitis Virus bzw. das La Crosse Virus übertragen können. Bis jetzt ist die Rolle von *Aedes koreicus* und *Aedes atropalpus* als Vektor in der Natur in Mitteleuropa jedoch als unbedeutend einzustufen. Die Asiatische Buschmücke *Aedes japonicus* könnte aufgrund der schon heute hohen Populationsdichten in Süd- und Westdeutschland, der beobachteten Konkurrenzstärke gegenüber einheimischen Stechmücken sowie einer Neigung, neben Vögeln auch Menschen zu stechen (gemischte Wirtspräferenz), ein relevanter Überträger von Krankheitserregern in Deutschland werden. Die Asiatische Buschmücke weist nicht nur eine hohe Vektorkompetenz (= Fähigkeit eine Infektion weiterzugeben) für das Japanische Enzephalitis Virus, sondern potenziell auch für das West Nil Virus auf. Zumindest wurde West Nil Virus in Mücken aus dem Freiland in den USA nachgewiesen. In einer deutschen Population der Asiatischen Buschmücke konnte allerdings keine Transmission des West Nil Virus, aber des Japanische Enzephalitis Virus in einer Laborstudie festgestellt werden (HUBER et al. 2014).

Die unterschiedlichen Vektorkompetenzen der nordamerikanischen und deutschen Populationen von *Aedes japonicus* gegenüber dem West Nil Virus könnten an der unterschiedlichen genetischen Ausstattung der Mücke oder des eingesetzten Virusstammes liegen, aber auch Temperatur- und Futterbedingungen in jungen Lebensstadien (Mückenlarven) können nachweislich einen großen Einfluss auf die Vektorkompetenz haben. Somit ist die Vektorkompetenz der deutschen Asiatischen Buschmücke gegenüber dem West Nil Virus aktuell noch ungewiss. Wie komplex die Abschätzung des medizinischen Risikos unter Klimawandelbedingungen und wie groß die Bedeutung der genetischen Diversität der Stechmücken dafür ist, soll ein weiteres Beispiel verdeutlichen. Die Vektorkompe-

tenz der Gemeinen Stechmücke *Culex pipiens* für das West Nil Virus hängt stark von der Temperatur und dem Biotyp (= genetisch identische Individuen, aber unterschiedliche ökologische Nischen bewohnend) ab. Im Falle des weit verbreiteten Biotyp *Culex pipiens pipiens* und der Hybridform *Culex pipiens pipiens x molestus* nimmt die Transmissionsrate für das West Nil Virus mit zunehmender Temperatur zu und damit werden diese genetischen Linien unter den Bedingungen des Klimawandels zu potenteren West Nil Vektoren. Der Biotyp *Culex pipiens molestus* hingegen zeigt keine temperaturabhängige Transmissionsrate auf (VOGELS et al. 2016).

Die Asiatische Tigermücke *Aedes albopictus* gilt als weltweit wichtigstes Beispiel für den mit der Einwanderung neuer Stechmückenarten einhergehenden Risikoanstieg der Übertragung von Krankheitserregern. Die Asiatische Tigermücke kann unter anderem das West Nil Virus, das Chikungunya Virus, das Dengue Virus und auch das Zika Virus übertragen. Die Art weist aufgrund der hohen Vektorkompetenz, der starken Präferenz für Menschen (statt Tieren) sowie ihrer Tagaktivität (statt Dämmerungsaktivität) ein höheres Übertragungspotenzial für humanpathogene Krankheitserreger auf als alle in Deutschland einheimischen Stechmückenarten. Unterschiedliche Krankheitsausbrüche in Europa zeigen, dass ein ernsthaftes medizinisches Risiko besteht. Im Jahr 2007 gab es eine erste Chikungunya-Epidemie in Ravenna (Italien) mit insgesamt 166 nachgewiesenen autochthonen Fällen (= vor Ort und nicht im Ausland zugezogene Infektion), die mit der dort in den 1990er Jahren eingeschleppten Art *Aedes albopictus* in Zusammenhang gebracht wurden. Zwischen 2010 und 2015 wurden mehrere autochthone Dengue- und Chikungunya-Fälle aus Südfrankreich berichtet. Ein weiterer autochthoner Dengue Fall wurde in Kroatien in 2010 erfasst. Auch dort war jeweils *Aedes albopictus* mit hoher Wahrscheinlichkeit die Vektorart.

In Deutschland gibt es schon heute geeignete Lebensräume für die Etablierung der Asiatischen Tigermücke (z.B. Oberrheingraben; ERGULER et al. 2016, prozessorientiertes Modell, vgl. Abb. 3.4-1). Weitere klimatisch geeignete Gebiete in Süd-, Mittel- und Westdeutschland wurden unter Berücksichtigung verschiedener Klimawandelszenarien identifiziert (FISCHER et al. 2011, korrelatives Modell, vgl. Abb. 3.4-1). In der Tat konnte über die letzten Jahre eine verstärkte Einwanderung der Asiatischen Tigermücke nach Deutschland beobachtet werden (Nationale Expertenkommission für Stechmücken am FLI, 2016). Seit dem ersten Fund von Eiern von der Asiatischen Tigermücke im Jahr 2007 in Süddeutschland (Oberrheingraben, an der Autobahn A5) wurden regelmäßig

eingeschleppte Individuen in Deutschland gefangen. Zudem wurde 2014 erstmals eine lokale Vermehrung der Asiatischen Tigermücke in Deutschland beobachtet (Freiburg). Trotz sofortiger Bekämpfung durch die Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage KABS e.V. konnte die Population bisher nicht vollständig ausgerottet werden und eine Überwinterung hat bereits stattgefunden. Weitere sich lokal vermehrende Populationen wurden 2015 für Jena sowie 2015 und 2016 für Heidelberg berichtet.

Die Rolle der Biodiversität. Über Zwischenwirte und die Konkurrenz von Mückenlarven

Zecken: Die Frage der Bedeutung der Artenvielfalt mag bei Zecken unangebracht erscheinen, da nur eine Handvoll Arten als Krankheitsüberträger relevant sind. Hier stellt sich jedoch vor allem die Frage nach der Biodiversität der Lebensräume und der sich in ihnen aufhaltenden Zwischenwirte der Pathogene, die dann über die Zecke an den Menschen weitergegeben werden. Der Mensch ist eigentlich ein Fehlwirt, da sich die für ihn problematischen Krankheitserreger in der Regel nicht im Menschen weiter vermehren können. Der Zwischenstufe des so genannten Reservoirwirtes (diverse Nager und Vögel) muss mehr Aufmerksamkeit gewidmet werden, nicht nur bezüglich der Pathogenlast sondern auch hinsichtlich der Artenvielfalt: Eine höhere Diversität der Reservoirwirte kann für eine geringere Belastung mit Pathogenen sorgen, was sich wiederum auf den Fehlwirt Mensch auswirken könnte. Wenn der Parasit viele Arten attackiert, und diese von ihm attackierte artenreiche Gemeinschaft an Wirtsarten sehr starke Unterschiede hinsichtlich ihrer Belastung mit bzw. Eignung für Pathogene aufweisen, so ist das Risiko, Pathogene aufzunehmen (und weiterzugeben) umso geringer, je arten- und individuenreicher diese Wirtsgemeinschaft ist (BOUCHARD et al. 2013, LEVI et al. 2016). Man spricht hier von einem »Verdünnungseffekt«, der aber in der Literatur immer wieder kontrovers diskutiert wird und nicht unumstritten ist. Beispielhaft kann die Rolle des eingewanderten Waschbärs als mögliches Pathogenreservoir genannt werden oder die Auswirkungen eines Räubers wie den Fuchs auf seine Beutepopulation und damit die potenziellen Wirte der Zecken. Der Forschungsbedarf ist hier noch sehr groß (ESTRADA-PENA & DE LA FUENTE 2016).

Stechmücken: Die Einwanderung neuer Stechmückenarten führt in ihren doch eher kleinräumigen und zeitlich begrenzt existierenden Habitaten zu neuen Konkurrenzsituationen mit einheimischen Stechmücken wie der Gemeinen Stechmücke *Culex pipiens*. Es stellt sich die Frage, wie einheimische Arten auf

die Neuankömmlinge reagieren und wie sich das komplexe Zusammenspiel von biologischen Faktoren und Umweltfaktoren auf die Konkurrenzstärke der Arten auswirkt. Zum Beispiel waren die ursprünglichen Brutgewässer der Asiatischen Tigermücke tropische bis subtropische Phytotelmata (pflanzliche Kleinstgewässer wie Astlöcher, Blattachseln und Bambusstümpfe) in ländlichen Gebieten. Da die Art hochgradig anpassungsfähig ist (genetisch wie vermutlich auch epigenetisch), sind

mittlerweile zumeist städtische Gebiete in den gemäßigten Breitengraden betroffen. Eine Verhaltens- als auch Temperaturanpassung führte dazu, dass die Asiatische Tigermücke nun vermehrt Anthrotelmata (menschengemachte Kleinstgewässer wie wassergefüllte Blechdosen, Blumenvasen, Autoreifen oder Regentonnen) vorrangig als Brutstätten nutzt und durch eine Winterhärte der Eier auch in kühleren Regionen zu finden ist.

Einer der wohl stärksten Konkurrenten der Asia-

Die Verbreitung der Asiatischen Tigermücke

Die Asiatische Tigermücke *Aedes albopictus* kann viele humanpathogene Erreger übertragen, beispielsweise Chikungunya, Dengue und Zika Viren. Verbreitungsmodelle sagen für Mitteleuropa eine Etablierung der Asiatischen Tigermücke bis zum Ende des laufenden Jahrhunderts voraus. Im Detail unterscheiden sich die Verbreitungsmodelle.

...unter Berücksichtigung bioklimatischer Faktoren

Die ersten Abschätzungen für die mögliche Verbreitung der Asiatische Tigermücke wurden anhand bekannter klimatischer Ausbreitungsgrenzen, z.B. der minimalen oder mittleren Jahrestemperatur erstellt. Mittlerweile werden sogenannte korrelative Artverbreitungsmodelle genutzt, welche die aussagekräftigsten bioklimatischen Variablen nicht vorgeben, sondern erst anhand der weltweiten Artverbreitung ermitteln. Die Vorkommen an schon besiedelten Orten (und das Klima dort) werden also genutzt, um Vorhersagen in einem anderen Gebiet unter Klimawandelbedingungen zu treffen.

...und ihrer Anpassung an den Klimawandel

Die vorgenannten Modelle geben einen guten Überblick, werden aber der schnellen Anpassungsfähigkeit der Asiatischen Tigermücke nicht gerecht. Die Asiatische Tigermücke kann sich an lokale Umweltbedingungen anpassen. So korreliert die in Japan dokumentierte Ausbreitung der Asiatischen Tigermücke in größere Höhenlagen mit der Erhöhung der jährlichen Durchschnittstemperatur von ca. 1°C im Zeitraum von 30 Jahren. Es wird vermutet, dass die Asiatische Tigermücke zunehmend kältetolerant wird und diese Anpassung einen großen Beitrag zur erfolgreichen Ausbreitung der invasiven Art in kältere Regionen (z.B. Deutschland) leistet. Diese physiologische Unschärfe wird in sogenannten prozessbasierten Modellen besser abgebildet. Diese Modelle übersetzen physiologische Prozesse, welche im Labor ermittelt wurden (z.B. Kältetoleranz), in mathematische Gleichungen und erstellen damit saisonale Vorhersagemodelle für bestimmte Orte. Um die Vorhersagen der Verbreitung der Asiatischen Tigermücke noch weiter zu verbessern, sollten zukünftige Forschungsarbeiten die Verknüpfung von korrelativen und prozessorientierten Modellen anstreben.

Abb. 3.4-1: Die modellierte Verbreitung der Asiatischen Tigermücke unter Berücksichtigung bioklimatischer Faktoren und der schnellen Anpassung der Art an den Klimawandel.

tischen Tigermücke im globalen Maßstab ist die ebenfalls invasive, ursprünglich aus Afrika stammende Art *Aedes aegypti*, die annähernd dieselben Brutgewässer wie die Asiatische Tigermücke nutzt. Es scheint, dass in großen Städten in Südost-Asien, in denen die Asiatische Tigermücke natürlicherweise vorherrschte, in den letzten Jahren *Aedes aegypti* einwanderte und nun die dominante Art darstellt. Dies hat wohl damit zu tun, dass sich in dieser Zeitspanne der urbane Raum weiter verdichtete und damit weniger attraktiv für die Asiatische Tigermücke wurde. Andererseits verdrängte die Asiatische Tigermücke bei ihrer Expansion im Südosten der USA *Ae. aegypti* in städtischen Regionen. Dort wird *Ae. aegypti* nur noch in Brutgewässern mit sehr hohen Temperaturen gefunden (33-37 °C). In Deutschland ist der größte Konkurrent für die Asiatische Tigermücke sicherlich die Gemeine Stechmücke *Culex pipiens* (Artkomplex) und die Asiatische Buschmücke, da sich die Ansprüche an die Brutstätten für die Larven stark überschneiden. Studien im Freiland (Italien, USA) deuten auf eine Dominanz der Asiatischen Tigermücke gegenüber der Gemeinen Stechmücke sowie der Asiatischen Buschmücke hin, allerdings ist die Konkurrenzstärke abhängig von der Temperatur und der zur Verfügung stehenden Nahrung für die Larven. Auch wenn die Dokumentation der Konkurrenz zwischen verschiedenen Stechmückenarten in vielen Bereichen noch lückenhaft ist, wird alleine an diesen Beispielen klar, dass es unter Klimawandelbedingungen in Deutschland nicht zu einer reinen Aufzählung von neuen Arten kommen wird, sondern auch einheimische Arten mit ihren spezifischen Vektorkompetenzen als Konkurrenten dominant bleiben oder ersetzt werden können. Eine Vorhersage für Deutschland über die Gewinner und Verlierer in der »Mückenbiodiversität« im Zusammenspiel mit dem Klimawandel lässt sich aufgrund der sehr komplexen und noch nicht verstandenen Zusammenhänge von bioklimatischen Faktoren und der Konkurrenz zwischen Arten bzw. der Vektorkompetenz derzeit noch nicht abschließend treffen.

Was kann man tun?

Mit der zunehmenden Ausbreitung bzw. ansteigenden saisonalen Aktivität von Vektoren unter Klimawandelbedingungen in Deutschland ist ein steigendes medizinisches Risiko durch Arboviren zu befürchten. Zur Reduktion der Risiken eignen sich je nach Vektorart und Krankheitserreger prophylaktische Maßnahmen (z.B. Verhaltensprophylaxe, FSME Impfung, Vergrämstoffe = Repellentien, Insektenschutzmittel), ein integriertes Habitatmanagement (z.B. Zerstörung von Stechmückenbrutstätten, Mahd von Wiesen) und – zumindest im Fall der Stechmücken – eine biologisch-chemische

Vektorbekämpfung. Langfristig gilt es, weitere Forschungslücken zu schließen, um bessere Vorhersagen für Krankheitsüberträger und das zugehörige medizinische Risiko in Zeiten des Klimawandels treffen zu können.

Prophylaxe: Um sich gegen zecken- und mückenübertragene Krankheitserreger zu schützen, steht die individuelle Expositionsprophylaxe wie z.B. das Vermeiden von Freizeitaktivitäten in gefährdeten Gebieten, das Verwenden von Insektengittern bzw. -netzen sowie der Einsatz von Repellentien an erster Stelle. Zur Verhaltensprophylaxe bzgl. Zecken möchten die Autoren folgende Informationsseite empfehlen: <http://www.zeckenwetter.de>. Des Weiteren können medikamentöse Prophylaxen und Impfungen das Risiko einer Erkrankung minimieren oder verhindern, selbst wenn ein mit Krankheitserregern belasteter Vektor »zuschlägt«. So konnten bereits Teilerfolge erzielt werden, wie etwa die Einführung von Impfungen gegen das von Stechmücken übertragene Gelbfieber-Virus (vor ca. 80 Jahren) oder das durch Zeckenstich weitergegebene FSME-Virus (vor ca. 40 Jahren). Laut Weltgesundheitsorganisation sind Impfungen langfristig die kostengünstigste Methode, um flächendeckend die weltweite Bevölkerung vor zoonotischen Pathogenen zu schützen. Allerdings gibt es heutzutage für viele durch Stechmücken übertragene Viren noch keine Impfstoffe oder nicht genügend Impfstoff wie im Fall des diesjährigen Ausbruchs des Gelbfiebers in Afrika.

Vektormangement: Ein nachhaltiges integriertes Vektormangement besteht aus mehreren Komponenten: Monitoring der Vektoren, Prävention & Bekämpfung sowie Aufklärung der Bevölkerung (s. Abb. 3.4-2). Hierzu gehört neben einem flächendeckenden Monitoring für krankheitsübertragende Zecken- und Stechmückenarten in aller erster Linie ein nachhaltiges Habitatmanagement. Dies beinhaltet die regelmäßige Mahd von Wiesen in den von Zecken betroffenen Gebieten sowie die Vermeidung, regelmäßige Entfernung und Reinigung von potentiellen Brutgewässern für Stechmücken (Regentonnen, Gießkannen, Blumenvasen, Blumenuntersetzer, offenliegender Müll). Das Vektormangement muss auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmt werden und erfordert somit eine enge Zusammenarbeit zwischen Behörden und Kommunen. Zudem ist ein nachhaltiges und integriertes Vektormangement nur über die Einbindung der Bevölkerung und einem vorangehenden Wissenstransfer zu leisten.

Seit dem Bekanntwerden der Rolle der Stechmücken als Krankheitsüberträger werden diese mit biologischen und chemischen Methoden bekämpft. Um das medizinische Risiko gering zu halten, werden Stechmü-

ckenpopulationen mit biologischen Bioziden wie dem Bt-Toxin (Proteine des Erdbakteriums *Bacillus thuringiensis*) bekämpft. Das großflächige Ausbringen hochspezifischer Stechmückenbekämpfungsmittel wie dem Bt-Toxin scheint nicht frei von jeglichen Konsequenzen zu sein und einen Einfluss auf trophische Ebenen des Ökosystems haben zu können. Zum Beispiel wiesen Mehlschwalben in Bt-behandelten Gebieten signifikant weniger Bruterfolg auf (POULIN et al. 2010). Hierzu gibt es aber auch Gegenstudien (z.B. VINNERSTEN et al. 2010). Zunächst bleiben die Bt-Toxine der Gold-Standard in der Mückenbekämpfung (Nationale Expertenkommission für Stechmücken am FLI, 2016), welche bei kleinräumiger Anwendung (beispielsweise in Regentonnen) keinerlei ökologische Risiken mit sich bringen sollten.

Neuerdings werden aber auch vermehrt alternative Bekämpfungsmaßnahmen in den Forschungslaboren ausprobiert (s. Kap. 2.3 - MÜLLER & BERGHAHN). Was-

serflöhe können die Larvenentwicklung von Stechmücken beeinträchtigen. Frassfeinde wie der Ruderfußkrebs *Mesocyclops* oder der Moskitofisch (*Gambusia* spp.) können die Bestände an Stechmückenlarven effizient reduzieren. Die in Mücken parasitisch lebenden Bakterien der Gattung *Wolbachia* können das Wachstum von Viren in den Stechmücken unterbinden. Auch werden physikalische und genetische Methoden zur Sterilisierung der Stechmücken erforscht (Gammabestahlung der Männchen, genetische Manipulation der Weibchen mit piggy bac bzw. gene drive Technologie) und auf die Verwendbarkeit im Freiland geprüft. Bei einem Krankheitsausbruch/Seuchenfall werden allerdings chemische Insektizide eingesetzt. Hier unterscheidet man Insektizide, welche Larven im Brutgewässer verlässlich abtöten (z.B. Juvenil hormone Methopren und Pyriproxifen, Chitinsynthesehemmer Diflubenzuron) und Insektizide, welche die flugfähigen erwachsenen Stechmücken abtöten (z.B.



Abb. 3.4-2: Ein nachhaltiges und integriertes Vektormanagement besteht aus den folgenden Komponenten: Monitoring der Vektoren (oben links: Eiablagefallen), Prävention & Bekämpfung (unten links: Vermeidung von Brutstätten) sowie Aufklärung der Bevölkerung (rechts: Aufsteller am Flughafen in Lima, Peru). Das Vektormanagement muss auf die lokalen Gegebenheiten abgestimmt werden und erfordert eine enge Zusammenarbeit von Behörden, Kommunen, Medien und der Bevölkerung.

Malathion, Permethrin, Deltamethrin, Alpha-Cypermethrin, Lambda-Cyhalothrin). Da chemische Insektizide umwelt- und gesundheitsschädlich sind, bedarf das Ausbringen dieser Insektizide im Freiland einer behördlichen Erlaubnis. Außerdem dürfen ausschließlich behördlich anerkannte Schädlingsbekämpfer die Insektizide einsetzen.

Forschung: Um durch Klimawandel begünstigte Veränderungen von Vektoren und assoziierten Krankheitserregern frühzeitig zu erkennen und nötige Gegenmaßnahmen einzuleiten, müssen die komplexen Beziehungen zwischen Klima- und anderen Umweltveränderungen sowie die biotischen Interaktionen zwischen einheimischen und invasiven Krankheitsvektoren noch besser erforscht werden. Auch bleibt die Rolle der genetischen Biodiversität (siehe Beispiel der Biotypen) und Ökologie der Stechmücken (siehe Beispiel der temperaturabhängigen Transmissionsraten) für die Transmission von Erregern noch ungeklärt. Inwieweit die Bekämpfung evtl. wichtiger Schlüsselarten wie bestimmter Nagerarten in der Übertragungskette Pathogen-Zecke-Zwischenwirt von Bedeutung sein kann, muss ebenfalls zu einem prioritären Forschungsgegenstand werden.

Referenzen

BOUCHARD, C., G. BEAUCHAMP, P. A. LEIGHTON, R. LINDSAY et al. (2013): Does high biodiversity reduce the risk of Lyme disease invasion?. *Parasites & Vectors*, 6(1), 1.

DAÜTEL, H. (2010): Zecken und Temperatur. In: Aspöck, H. (ed.). *Krank durch Arthropoden*. Denisia 30. 149-169.

DOBLER, G. (2016): TBE [tickborne encephalitis] in Germany: unusual geographic occurrence and 1st detection of TBE virus in Germany in *Dermacentor reticulatus* ticks. International Society for Infectious Diseases. <http://outbreakwatch.blogspot.de/2016/10/proahedr-tick-borne-encephalitis.html> [zuletzt besucht: 21.10.2016].

ERGULER, K., S. E. SMITH-UNNA, J. WALDOCK, Y. PROESTOS et al. (2016): Large-scale modelling of the environmentally-driven population dynamics of temperate *Aedes albopictus* (Skuse). *PLoS One*, 11(2), e0149282.

ESTRADA-PENA, A. & J. DE LA FUENTE (2016): Species interactions in occurrence data for a community of tick-transmitted pathogens. *Scientific Data*, 3.

FISCHER, D., S. M. THOMAS, F. NIEMITZ, B. REINEKING et al. (2011): Projection of climatic suitability for *Aedes albopictus* Skuse (Culicidae) in Europe under climate change conditions. *Global and Planetary Change*, 78(1), 54-64.

FÖLDVÁRI, G., SÍROKÝ, P., SZEKERES, S., MAJOROS, G. ET AL. (2016): *Dermacentor reticulatus*: a vector on the rise. *Parasites & vectors*, 9(1), 1.

GATESNOTES (2016): <https://www.gatesnotes.com/Health/>

Most-Lethal-Animal-Mosquito-Week. [zuletzt besucht: 21.10.2016]

HUBER, K., S. JANSEN, M. LEGGIEWIE, M. BADUSCHE et al. (2014): *Aedes japonicus japonicus* (Diptera: Culicidae) from Germany have vector competence for Japan encephalitis virus but are refractory to infection with West Nile virus. *Parasitology Research*, 113(9), 3195-3199.

JAENSON, T. G., K. VÁRV, I. FRÖJDMAN, A. JÄÄSKELÄINEN et al. (2016): First evidence of established populations of the taiga tick *Ixodes persulcatus* (Acari: Ixodidae) in Sweden. *Parasites & Vectors*, 9(1), 377.

KAMPEN, H., W. POLTZ, K. HARTELT, R. WÖLFEL et al. (2007): Detection of a questing *Hyalomma marginatum marginatum* adult female (Acari, Ixodidae) in southern Germany. *Experimental and Applied Acarology*, 43(3), 227-231.

LOZÁN, J. L., H. GRASSL, L. KARBE & G. JENDRITZKY (Hrsg.) (2014): *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. Kap. 3.2.5: Garmis, R. Tropenmedizinisch relevante Insekten, und Kap. 3.2.12: Kahl, O. & Dautel, H. Zur Biologie und Ökologie von Zecken und ihre Ausbreitung nach Norden. 2. Auflage. www.warnsignale.uni-hamburg.de.

LEVI, T., F. KEESING, R. D. HOLT, M. BARFIELD et al. (2016): Quantifying dilution and amplification in a community of hosts for tick-borne pathogens. *Ecological Applications*, 26(2), 484-498.

MOVILA, A., A. N. ALEKSEEV, H. V. DUBININA & I. TODERAS (2013): Detection of tick-borne pathogens in ticks from migratory birds in the Baltic region of Russia. *Medical and Veterinary Entomology*, 27(1), 113-117.

NATIONALE EXPERTENKOMMISSION FÜR STECHMÜCKEN AM FLI (2016): *Aedes albopictus* in Deutschland - Handlungsbedarf und -optionen im Umgang mit der Asiatischen Tigermücke. Empfehlungen, Stand 19.04.2016. Nationale Expertenkommission »Stechmücken als Überträger von Krankheitserregern« am Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit.

POULIN, B., G. LEFEBVRE & L. PAZ (2010): Red flag for green spray: adverse trophic effects of Bti on breeding birds. *Journal of Applied Ecology*, 47(4), 884-889.

VINNERSTEN, T. Z. P., J. O. LUNDSTRÖM, M. L. SCHÄFER E. PETERSSON et al. (2010): A six-year study of insect emergence from temporary flooded wetlands in central Sweden, with and without Bti-based mosquito control. *Bulletin of Entomological Research*,

VOGELS, C. B., J. J. FROS, G. P. GÖERTZ, G. PIJLMAN et al. (2016): Vector competence of northern European *Culex pipiens* biotypes and hybrids for West Nile virus is differentially affected by temperature. *Parasites & Vectors*, 9(1), 393.

Kontakt:
 Dr. Aljoscha Krefß kress@bio.uni-frankfurt.de
 Institut für Ökologie, Evolution und Diversität
 Goethe Universität Frankfurt
 PD Dr. Jens Amendt
 Institut für Rechtsmedizin
 Goethe Universität Frankfurt
 Dr. Ruth Müller
 Institut für Arbeitsmedizin, Sozialmedizin und Umweltmedizin
 Goethe Universität Frankfurt

Krefß, A., J. Amendt & R. Müller (2016): Überträger von Krankheitserregern in Zeiten des Klimawandels am Beispiel der Stechmücken und Zecken in Deutschland. In: Lozán, J. L., S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Die Biodiversität*. pp. 123-129. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi: 10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.20.