

Monitoring und Bekämpfung der Stechmücken (Culicidae) im Zeichen des Klimawandels

Associate Professor Dr. Norbert Becker

Universität Heidelberg, Im Neuenheimer Feld 230, 69120 Heidelberg;

**Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Stechmückenplage (KABS),
Ludwigstr. 99, 67165 Waldsee; Executive Director of the European Mosquito Control
Association (EMCA)**

Die Stechmücken (Culicidae) gehören mit mehr als 3.500 Arten nur zu einer kleinen bis mittelgroßen Insektenfamilie. Allerdings sind sie nicht nur in ihrer langen Evolution über mehr als 100 Millionen Jahre außerordentlich erfolgreich, ihre Entwicklungsstadien kommen in nahezu allen Wasserkörpern weltweit vor, sondern sie sind die Insekten, die den Menschen am stärksten bedrohen – jede Minute stirbt ein Mensch an einem Stechmückenstich. Ihre Entwicklungsstadien besiedeln temporäre und permanente, stark verschmutzte und unbelastete, große und kleine, stehende und leicht fließende Gewässer, selbst in kleinsten Wasseransammlungen, wie Wasser gefüllten Vasen, Reifen, Hufabdrücken oder Blattachseln kann man die Entwicklungsstadien finden. Sie müssen sich in vielfältiger Weise an die verschiedenen Habitate und Lebensbedingungen anpassen, weshalb sich die einzelnen Arten auch sehr in ihrer Bionomie unterscheiden.

Stechmücken bedrohen als Überträger der Malariaerreger, Gelb-, Dengue- und West-Nil-Viren sowie der Erreger der lymphatischen Filariose mehr als die Hälfte der Menschheit. Mehrere hundert Millionen Menschen erkranken und nahezu eine Million Menschen, meist Kinder, sterben jährlich allein an Malaria. Obwohl etwa Dreiviertel der mehr als 3.500 Stechmückenarten weltweit in tropischen und subtropischen Gebieten vorkommen, können sie in gemäßigten Klimazonen auch zur großen Plage werden und die Lebensqualität durch ihr massenhaftes Auftreten stark reduzieren. Meist sind es die so genannten Überschwemmungsmücken, sie benötigen Wasserstandsschwankungen für ihre Entwicklung), die durch ihr plötzliches massenhaftes Auftreten Plagen erzeugen. In Deutschland sind an erster Stelle die Wiesen- und Auwaldmücken, wie *Aedes vexans* oder *Ochlerotatus sticticus*, zu nennen, die entlang von Flussläufen oder Seen mit Wasserstandsschwankungen – also bei Hochwasser- ihre Brut hervorbringen. Die Waldmücken (meist Frühjahrsarten) entwickeln sich schon zeitig im Jahr in Gräben und Senken, die sich in versumpften Wäldern (z.B. Erlenbruchwäldern) meist nach der Schneeschmelze oder frühjährlichen Regenfällen mit

Wasser füllen. Halophile, Salz- oder Brackwasser liebende Arten, wie *Oc. caspius* oder *Oc. detritus* brüten meist in überschwemmten Küstenregionen oder in mit Salzwasser gespeisten Sümpfen (z.B. in der Nähe von Salzbergwerken).

Bei der Betrachtung der Frage „Klimaveränderungen und daraus resultierende Seuchengefahren gilt es, besondere Sorgfalt walten zu lassen. Zum einen muss man wegen der Sensibilität der Öffentlichkeit eine Überreaktion der Bevölkerung aufgrund von Panikmeldungen vermeiden, zum anderen ist es notwendig, durch eine realistische Einschätzung auf mögliche Gefahren durch eingeschleppte oder neu auftretende Infektionskrankheiten bzw. das Einschleppen von Vektororganismen hinzuweisen. Sehr wahrscheinlich werden wir in Deutschland keine Malariaepidemien mehr zu erwarten haben, trotzdem muss man sich in Europa bzw. Deutschland verstärkt mit Fragen von Vektoren übertragenen Krankheiten sowohl medizinisch als auch epidemiologisch beschäftigen. Es sind die sich verändernden Verhältnisse, die bereits besiegte Krankheiten oder bisher nie auftretende Krankheiten zur Bedrohung für die Menschen werden lassen.

Weltweit sind mehr als 300 Mill. Menschen an Malaria erkrankt, jährlich sterben nach Schätzung der Weltgesundheitsorganisation etwa 1 Millionen Menschen an dieser Infektionserkrankung (etwa alle 60 Sekunden ein Mensch), die von *Anopheles*-Mücken übertragen wird. Dengue Viren werden durch den Stich einer Mücke, vorwiegend durch den Gelbfieber-Mosquito *Aedes aegypti* übertragen. Mehr als 2 Milliarden Menschen, meist in den planlos wachsenden Megacities der Tropen, leben mit dem Risiko an Dengue-Fieber oder sogar dem oft tödlich verlaufenden Dengue haemorrhagischen Fieber zu erkranken. Die betroffenen Menschen müssen Wasser wegen der mangelnden Leitungswasserversorgung in Containern speichern und schaffen damit ideale Brutstätten für *Aedes aegypti*.

Mit gutem Recht kann man behaupten, dass es kein Tier auf der Welt gibt, das die Geschicke der Menschheit so maßgeblich negativ beeinflusst hat, wie Stechmücken.

In diesem Beitrag wird der Frage nachgegangen, ob durch Mücken übertragene Krankheiten in Deutschland im Hinblick auf eine Klimaveränderung, eingeschleppte Mücken bzw. Parasiten oder geänderte Lebensgewohnheiten, wie die erhöhte Mobilität der Menschen und den internationalen Warenverkehr, eine größere Bedeutung erlangen können. In dieser Risikoanalyse soll insbesondere das Zusammenwirken zwischen dem Überträger, also den Stechmücken und den Krankheitserregern, also den Pathogenen bzw. Parasiten beleuchtet werden. Dabei müssen insbesondere folgende Zusammenhänge berücksichtigt werden:

1) **Die direkte Interaktion zwischen den Stechmücken und den Krankheitserregern.**

Eine Übertragung durch Vektoren kann in der Regel nur dann erfolgreich sein, wenn der Krankheitserreger sich in der Mücke vervielfältigen kann, d.h. eine Entwicklung in der Mücke erfolgen kann. Dies soll durch ein Beispiel belegt werden. Stechmücken sind keine geeigneten Überträger der HIV-Viren, da diese sich nicht in den Stechmücken vermehren und in die Speicheldrüsen eindringen können. Bei den Fiebertmücken (*Anopheles*-Mücken) gibt es nahe verwandte Arten, bei denen die eine Art Malaria übertragen kann, die andere nicht. Es hat offensichtlich im Laufe der Evolution eine Anpassung des Pathogens/Parasiten an den Überträger stattgefunden, so dass sie entweder zusammenwirken oder sich abstoßen.

2) **Klimatische bzw. ökologische Faktoren.** Sie bestimmen, ob in einem Gebiet die Erreger oder Überträger existieren und sich erfolgreich vermehren können. Die Erreger der Malaria können sich in der Mücke nur entwickeln, wenn die Temperaturen ausreichend hoch sind. Eingeschleppte Stechmücken können sich nur bei bestimmten klimatischen Bedingungen erfolgreich vermehren. Daher wird folgerichtig der Frage nachgegangen, ob eine Klimaveränderung zu einer Ausbreitung tropischer Krankheiten und deren Vektoren nach Europa respektive Deutschland führen kann?

3) **Verfügbarkeit der Krankheitserreger und Überträger** in einem Gebiet, so dass der Infektionskreislauf geschlossen werden kann. Ist in einem Gebiet entweder der Erreger oder der Überträger erfolgreich eliminiert worden, so ist der Infektionskreislauf unterbrochen. Aber gerade durch die gestiegene Mobilität der Menschen und den weltweiten Handel werden sowohl Pathogene als auch Überträgermücken innerhalb von wenigen Stunden von Kontinent zu Kontinent verfrachtet. Alljährlich infizieren sich etwa 500 Menschen aus Deutschland während Fernreisen in den Tropen an Malaria. Infizierte Mücken können mit Flugzeugen nach Europa eingeschleppt werden. Durch ihren Stich können Menschen, die nie die Tropen besucht haben, an tropischen Krankheiten insbesondere Malaria oder Dengue erkranken. Hier stellt sich die Frage, ob unsere einheimischen Stechmücken die Erreger nach einem Stich an einem Infizierten weitergeben können? Wie ist die Vektorkompetenz unserer Mücken für eingeschleppte Krankheitserreger?

Im Folgenden soll an einigen konkreten Beispielen die Notwendigkeit aufgezeigt werden, auf die gestellten Fragen Antworten bzw. adäquate Lösungen für die Probleme mit von Mücken übertragenen Krankheiten zu finden.

1. Welche Bedeutung kommt der Malaria im Hinblick auf veränderte Umweltbedingungen zu?

Die menschliche Malaria wird durch vier bzw. 5 Erreger ausgelöst: *Plasmodium falciparum* (Erreger der Malaria tropica), *P. vivax* (Erreger des Drei-Tage-Fiebers) sowie *P. ovale* und *P. malariae* (letztere Erreger der Malaria quartana) sowie neuerdings auch *P. knowlesi*. Überträger sind ausschließlich *Anopheles*-Arten.

Um die Auswirkungen einer Klimaveränderung einschätzen zu können, muss man den Lebenszyklus der Überträger, der Anophelinen, sowie der Krankheitserreger, den Plasmodien, näher beleuchten. Sticht ein infiziertes *Anopheles*-Weibchen, gibt es Sporozoite, die Infektionskeime mit dem Speichelsekret an die nun infizierte Person ab. Sie gelangen mit dem Blut in die Leberzellen, machen dort eine Massenvermehrung durch (1. Gametogonie), um danach in rote Blutkörperchen einzudringen, um sich dort erneut massenhaft zu vermehren (2. Gametogonie). Immer dann, wenn die Merozoiten die roten Blutkörperchen verlassen, gibt es Fieberschübe (bei *P. vivax* immer nach 48 Std., daher Drei-Tage-Fieber). In den roten Blutkörperchen können sich neben den Merozoiten weibliche und männliche Gameten entwickeln. Diese können sich in Menschen nicht weiterentwickeln, sondern sie müssen nun von einem *Anopheles*-Weibchen bei einer Blutmahlzeit aufgenommen werden, um im Darm der Mücke zur Eizelle und zu Spermien zu reifen. Die Befruchtung der Eizellen (es entstehen dabei die beweglichen Ookineten) geschieht im Darm der Mücke, die Ookineten durchdringen die Darmwand und bilden im äußeren Darmepithel die Oocysten, in denen sich im Rahmen der Sporogonie die infektiösen Sporozoiten bilden, die aktiv in die Speicheldrüsen eindringen. Das *Anopheles*-Weibchen kann nun bei einem erneuten Stich einen Menschen infizieren.

Die Entwicklung vom infizierten Stich bis zur Entwicklung der Gameten dauert im Mensch etwa zwei Wochen (*P. falciparum*: 9-14 Tage, *P. vivax*: 12-17 Tage).

Die Bedeutung der Temperatur für die Entwicklung der Plasmodien in den Anophelinen

Die Entwicklung der Parasiten in den Mücken ist von der Temperatur abhängig.

Die minimale Temperatur (Sommer-Isotherme) bei der eine Entwicklung der Parasiten erst möglich ist, beträgt bei *P. falciparum* 16,5 °C, bei *P. vivax* 14,5 °C. Ansteigende Temperaturen beschleunigen die Entwicklung der Parasiten in der Mücke.

Je höher die Temperatur ist, desto schneller werden die Sporozoiten gebildet und folglich kann der Infektionszyklus schneller durchlaufen werden. Das Risiko einer Malaria-Infektion nimmt mit steigender Temperatur somit zu. Allerdings besteht ein Zusammenhang zwischen der Langlebigkeit einer Mücke und der Temperatur. Bei tiefen Temperaturen leben Mücken länger, bei höheren kürzer, bei extremen Temperaturen können die Mücken als auch die Parasiten absterben. Es gibt also für die Übertragung der Plasmodien jeweils ein Temperaturoptimum. Dies dürfte bei *P. vivax* und *An. messeae* bei 22-28°C und bei *P. falciparum* und *An. gambiae* bei 28-32°C liegen.

Die Bedeutung der Temperatur für die Entwicklung der Mücken

Die Temperatur hat neben dem Wasserangebot einen entscheidenden Einfluss auf die Entwicklung der Mücken sowie der Krankheitserreger. Es ist es vor allem die Temperatur, die die Abfolge der Generationen und Größe der Vektorpopulation beeinflusst.

Ein Anstieg der Temperatur beschleunigt nicht nur die Entwicklung der Stechmücken in ihren Brutgewässern, sondern auch andere Phasen des Lebenszyklus, wie die Häufigkeit der Blutmahlzeiten, die Dauer des gonotrophischen Zyklus (Dauer von der Blutmahlzeit bis zur Entwicklung der Eier) sowie die Langlebigkeit der Stechmücken. Die Verkürzung des gonotrophischen Zyklus erhöht die Frequenz der Blutaufnahmen und somit auch die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von Krankheitserregern, wie Malaria.

Beurteilung der Malaria Situation in Deutschland

Noch vor etwa 80 Jahren waren in Europa bodenständige Malaria-Fälle keine Seltenheit. Wahrscheinlich verlor Napoleon mehr Soldaten im Oberrheingebiet durch Malaria als durch Kugeln seiner Gegner. In Norddeutschland konnten Sumpfgebiete wegen der Malaria nicht besiedelt werden.

In Deutschland gibt es 6 *Anopheles*-Arten, die Malaria übertragen können sowie ihre bevorzugten Brutbiotope:

Anopheles maculipennis s.s.: vegetationsreiche Flachgewässer, gelegentlich aber auch Kontainer, wie Regenfässer;

An. messeae: vegetationsreiche Flachgewässer; jedoch selten in Kontainern;

An. atroparvus: meist in Brackwassergewässer, Marschen entlang von Küsten;

Die erst genannten drei Arten gehören dem *Anopheles Maculipennis*-Complex an.

An. algeriensis: meist beschattete, permanente Wasserkörper, toleriert auch Brackwasser (kein wichtiger Vektor).

An. claviger: meist in beschatteten pflanzenreichen Gewässern, kann bereits früh im Jahr bei kühlen Temperaturen auftreten.

An. plumbeus: Baumhöhlenbrüter, zunehmendes Auftreten in offen gelassenen Jauchegruben oder anderen künstlichen Wasserbehältern mit organischer Belastung.

Mit großer Wahrscheinlichkeit haben diese Arten in Deutschland vorwiegend *P. vivax*, Erreger des Drei-Tage-Fiebers übertragen. Die Ausbildung von sogenannten Hypnozoiten, Überdauerungsstadien von *P. vivax* in der Leber von Infizierten, zeigt die gute Anpassung dieses Parasiten an die gemäßigten klimatischen Verhältnisse in Europa. Mit den Hypnozoiten kann der Parasit auch im Winter, also zu ungünstigen Jahreszeiten, wenn die Vektoren schlechte Entwicklungsbedingungen haben, überdauern.

In Deutschland sind seit Ende des vorletzten Jahrhunderts große Malaria-Epidemien ausgeblieben. Zum Aufflackern der Malaria kam es lediglich nach den Wirren des ersten und zweiten Weltkriegs. Dies waren aber vorwiegend Malariafälle, die mit den Soldaten eingeschleppt wurden.

Was sind die Ursachen für den Rückgang der Malaria in Europa?

Es sind eine Reihe von Gründen verantwortlich:

- a) An erster Stelle muss man die Entdeckung des Chinins (Quinine) zur Malariabehandlung nennen. Durch die konsequente Behandlung der Malariapatienten ist die Dichte der Infizierten ständig zurückgegangen, so dass die Wahrscheinlichkeit für eine Mücke, mit einem Stich den Malariaerreger aufzunehmen, drastisch abnahm.
- b) Durch die Kanalisierung der Flüsse ist der Grundwasserstand ständig zurückgegangen, pflanzenreiche Dauergewässer, die idealen Brutstätten der *Anopheles*-Mücken, sind demnach immer seltener geworden. Durch die Kanalisierung des Rheines durch Tulla in

der Periode von 1817-1887 wurde die Fließgeschwindigkeit des Rheines erhöht. Die Sohlenerosion hat zur starken Abnahme des Grundwassers geführt. Flache Dauergewässer, die der Rhein bei Hochwasser geschaffen hatte und ideale Brutgewässer für *Anopheles maculipennis* s.l. darstellten, sind weitgehend verschwunden und gleichermaßen hat die Zahl der temporären Brutgewässer für Aedini-Arten (Überschwemmungsmücken) zugenommen. Diese letztgenannten Arten werden heute biologisch bekämpft. Die Zahl der *An. maculipennis* s.l. Weibchen hat dagegen zunehmend abgenommen. Man hat also zur Reduktion der Malaria durch wasserbautechnische Maßnahmen in Europa beigetragen, als man den Entwicklungskreislauf der Krankheitserreger noch nicht kannte. Dieser wurde erst durch Laveran und Ronald Ross Ende des 19. Jahrhunderts entdeckt.

- c) Veränderte Lebensgewohnheiten haben dazu geführt, dass die Menschen damals immer seltener mit den *Anopheles*-Mücken in Berührung gekommen sind, z.B. Stallungen und Wohngebäude, früher noch in einem Komplex vorhanden, sind getrennt worden. Die Weibchen von *An. maculipennis* s.s. und *An. messeae* sind in erster Linie zoophil, d.h. sie bevorzugen Großsäuger, wie Kühe und Pferde, als Wirte für die Blutmahlzeit. Nur bei engem Kontakt mit dem Menschen stechen sie auch Menschen und können als Vektoren fungieren.
- d) Mitteleuropa ist klimatisch ein Grenzgebiet für die Malariaerreger, weshalb man hier in der Lage war sie erfolgreich auszurotten. Heute kommen zwar noch alle Malariaüberträger in Deutschland vor, jedoch ist die autochthone Malaria in Mitteleuropa bis auf einzelne vermutete Fälle verschwunden. Dies trifft auch auf Südeuropa trotz günstigerer Klimabedingungen zu.

Welche Bedeutung hat die Klimaveränderung für die Übertragung von Malaria-Erregern?

Wie oben dargestellt, beeinflussen Umweltbedingungen maßgeblich die Entwicklung der Stechmücken sowie der Krankheitserreger in den Überträger-Moskitos. Neben dem Angebot an geeigneten Brutstätten für die Stechmücken sind es besonders die Temperaturverhältnisse, die die Übertragung von Parasiten neben dem Niederschlag als Regen und der rel. Luftfeuchte, die höher als 60% sein sollte, beeinflussen. Es ist daher verständlich, dass man eine Gefahr für das erneute Auftreten von Malaria in Deutschland bei gestiegenen Temperaturen sieht. Dies wurde auch in den letzten Assessment Reports of the

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) zum Ausdruck gebracht. Man geht davon aus, dass bis zum Jahr 2100 die globale Temperatur um 1,8 bis 4°C steigt und damit die Zahl der von Vektoren übertragenen Krankheiten deutlich zunimmt.

Um die bisherigen Veränderungen der Temperaturverhältnisse in Deutschland zu bewerten, wurden die Temperaturgänge der letzten 60 Jahre am Beispiel von Südwestdeutschland (Wetterstation Mannheim) untersucht. Es wurden die monatlichen Mittelwerte für drei Zeitperioden a) 1947 – 1966; b) 1967 – 1986; c) 1987 – 2006 gegenübergestellt (siehe Anhang).

Die Temperatur ist in den letzten Jahren ständig angestiegen. Der Anstieg ist etwa in gleichem Maße in den Sommer- wie auch in den Wintermonaten zu verzeichnen. Seit Aufzeichnungen der Temperaturen traten die wärmsten Jahre in den letzten zehn Jahren auf. Im Durchschnitt ist ein Anstieg der Temperatur um etwa 1,2 °C (Zeitspanne von 1977 bis 2006) festzustellen. In der gleichen Zeitspanne ist eine Erhöhung in Sommermonaten sogar um 1,6°C festzustellen.

Ein Anstieg der Temperatur um 1,6 °C würde eine Beschleunigung der Entwicklung der *Anopheles messeae* Populationen um etwa x T age bedeuten. Das heißt, dass sowohl die Zahl der Generationen von *An. messeae* zunimmt, als auch der gonotrophische Zyklus verkürzt wird.

Nun zur Frage, ob es wieder zur bodenständigen (autochthonen) Malaria in Deutschland kommen kann?

Die Erreger der Malaria sind in Mittel-Europa ausgerottet worden, jedoch werden immer häufiger die Malaria-Erreger aus den Tropen (insbesondere *P. falciparum*) eingeschleppt.

Das Einschleppen von Krankheitserregern geschieht vor allem über Touristen. In Europa werden jährlich etwa 5000 Malaria-Fälle registriert, in Deutschland sind es mehr als 500 Fälle. Die Touristen sind meist mit dem gefährlichen Erreger *P. falciparum*, dem Verursacher der Malaria tropica infiziert. Da die Infizierten in der Regel schnell behandelt werden und die Erreger nicht durch Überträger verbreitet werden, sind es in Europa Einzelschicksale, die leider in Einzelfällen tödlich verlaufen können. Auch infizierte Mücken können mit Flugzeugen aus den Tropen eingeschleppt werden und zur sogenannten Flughafen-Malaria bei Menschen führen, die nie die Tropen besucht haben.

Hier stellt sich jedoch die Frage, ob die gehäuften importierten Malaria-Fälle zur Bedrohung für die Bevölkerung werden können?

Sind unsere Stechmücken in der Lage, die tropischen Malariaerreger zu übertragen?

In der Regel muss eine Anpassung zwischen dem Überträger und dem Parasit im Zuge der Evolution gegeben sein, damit sie zusammenwirken können.

In den letzten Jahren haben englische Wissenschaftler der „London School of Tropical Medicine and Hygiene“ nachweisen können, dass sich der Erreger der Malaria tropica, *Plasmodium falciparum*, in *Anopheles plumbeus* vermehren kann.

Diese Erkenntnis hat für uns in Deutschland eine besondere Bedeutung. Die Fiebermücke *Anopheles plumbeus* legt in der Regel ihre Eier in Baumhöhlen ab, wo sich die Larven und Puppen entwickeln. In ländlichen Bereichen von Deutschland, insbesondere im Süden Deutschlands, hat sich in den letzten Jahrzehnten das Verhalten dieser Mücke gravierend geändert. Sie haben künstliche Sickergruben als Brutareale entdeckt. Während in natürlichen Baumhöhlen nur wenige Mücken brüten, können sich in den Sickergruben, in quasi einer riesigen künstlichen „Baumhöhle“, Millionen Mückenlarven entwickeln. Immer häufiger ist es in den letzten 10 Jahren zu Meldungen über Belästigungen durch diese Mücken im Wohnbereich gekommen. Die Weibchen sind nicht nur anthropophile gierige Blutsauger, sie kommen auch in unmittelbarer Umgebung des Menschen vor.

Dadurch muss ihnen ein besonderes Augenmerk als möglicher Überträger von Malariaparasiten geschenkt werden. Unsere Arbeitsgruppe hat in den vergangenen Jahren in Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg die Frage untersucht, inwieweit diese Mücke und andere einheimische *Anopheles*-Mücken eingeschleppte Malariaparasiten unter günstigen Umständen übertragen können.

Es konnte erstmals nachgewiesen werden, dass sich in *Anopheles plumbeus* Weibchen, die mit *P. falciparum* infiziertes Blut aufgenommen haben, nicht nur Oocyten, sondern auch Sporozoiten entwickeln konnten, die in die Speicheldrüsen eingewandert sind. Damit kann *An. plumbeus* auch die Erreger der tödlichen Malaria tropica übertragen.

Maßnahmen zur Reduktion des Malaria-Risikos?

Die KABS (German Mosquito Control Association) erfasst in ihrem Aktionsgebiet sowie darüber hinaus unterstützt durch Öffentlichkeitsarbeit die Massenbrutplätze von *An. plumbeus*. Die Brutplätze werden in einem GIS-Programm verwaltet. Weiterhin werden Tabletten auf der Basis des biologischen Wirkstoffes von *Bacillus thuringiensis israelensis* (Culicex Tabletten) zur Verfügung gestellt, um die Jauchegruben und Wasserbehälter gezielt umweltverträglich zu behandeln. Jährlich werden einige Millionen Tabletten appliziert und somit die Mückendichte im Siedlungsbereich stark verringert. Auf Anfragen werden auch von

den KABS-Mitarbeitern gezielte Bekämpfungen gegen *An. plumbeus* vorgenommen. Diese Art macht sich häufig wegen ihrer Stechlust auch am Tage sehr lästig bemerkbar, so dass bei der Bevölkerung das Interesse an einer Bekämpfung groß ist.

Durch die flächige Anwendung von *Bacillus thuringiensis israelensis* Formulierungen wird auch die *An. maculipennis s.l.* Population stark reduziert, so dass auch dadurch das Malaria-Risiko weiter reduziert wird. Weiterhin wird über das Internet Information zur Bekämpfung von Stechmücken verbreitet.

Fazit: Es ist kann nicht davon ausgegangen werden, dass auf Grund der Erwärmung von wenigen Graden Malariaepidemien in Deutschland ausbrechen werden. Es haben verschiedene Gründe zum Rückgang der Malaria geführt, insbesondere durch die Beseitigung der Brutstätten ist die Zahl der *Anopheles maculipennis s.l.* Weibchen zurückgegangen. Die gute gesundheitliche und hygienische Versorgung der Bevölkerung und die damit umgehende Behandlung von mit Plasmodien infizierter Menschen unterbrechen den Infektionskreislauf. Trotzdem nimmt das Risiko zu, dass es zu einzelnen autochthonen Malariafällen in Deutschland kommen kann. Insbesondere die gravierenden Veränderungen in der Landwirtschaft erhöhen das Risiko. Früher genutzte Jauchegruben waren wegen der hohen organischen Belastung keine geeigneten Brutstätten für *An. plumbeus*. Durch die Stilllegung der Gruben und die Anlage von Sickergruben, in die leicht belastetes Regenwasser einfließen kann, sind massenhaft Brutareale für *An. plumbeus* entstanden. Dies zeigen die zunehmenden Klagen, die bei der KABS bundesweit eingehen. *An. plumbeus* ist deshalb als Risikofaktor zu sehen, weil nicht nur ihre Populationen gravierend zunehmen, sondern weil sie ein guter Vektor für *P. falciparum* und *P. vivax* ist. Sie ist anthropophil und kommt oft massenhaft im ländlichen Siedlungsbereichen vor. Es kann festgehalten werden, dass die Veränderungen der landwirtschaftlichen Praktiken einen stärkeren Einfluss auf das Malaria-Risiko haben, als eine Erhöhung der Temperatur um etwa 2 °C. Man muss auch berücksichtigen, dass in Südeuropa schon heute deutlich höhere Temperaturen zu verzeichnen sind, ohne dass es bisher zu Malariaepidemien gekommen ist.

3) Stellen Arboviren eine Gefahr für die Menschen in Deutschland dar?

Von Stechmücken übertragene Viren (sogenannte Arboviren) stellen aus der Sicht des Verfassers im Vergleich zur bodenständigen Malaria eine weit größere Gefahr für die

Menschen in Deutschland dar. Für Europa sind hier insbesondere drei Viren von besonderer Relevanz, nämlich das West-Nil-, Dengue- und das Chikungunya-Virus.

Das West-Nil-Virus wurde 1937 in Uganda im Bereich des West-Nil-Gebiets entdeckt. Es kommt vor allem in wildlebenden Vögeln (Krähen können sterben, andere Vögel zeigen keine Symptome) vor. Diese infizieren sich mit den Viren in ihren Winterquartieren in Afrika. Dadurch werden sie mit den ziehenden Vögeln nach Europa importiert. So ist es 1996 und 1997 in Rumänien geschehen. Vögel stechende Stechmücken, wie z.B. unsere Hausmücken, *Culex p. pipiens*, haben zunächst die Viren in der Vogelpopulation ausgebreitet. Ist die Viraemie in der Vogelpopulation hoch, kann es von Stechmücken auf den Menschen übertragen werden. Sowohl 1996 und 1997 sind in der Umgebung von Bukarest jährlich etwa 400 Menschen an der Infektionskrankheit erkrankt und 17 bzw. 14 Personen sind 1996 und 1997 daran gestorben.

Die Verbreitung dieses Virus beschränkte sich zunächst auf Afrika, Asien, Südfrankreich, Osteuropa, Rumänien und Israel. Im Jahr 1999 traten erstmals Virusinfektionen im Bereich von New York, USA, auf. Innerhalb kürzester Zeit hat sich das Virus über den gesamten Nordamerikanischen Kontinent verbreitet. Im Jahr 2003 waren fast alle Staaten in den USA betroffen und nahezu 10.000 Menschen infiziert, wobei fast 300 Menschen daran starben. Erst der massive Einsatz von Insektiziden hat eine Ausweitung der Epidemie verhindert. Diese dramatische Situation ist wahrscheinlich aufgetreten, weil sowohl die Vögel als auch die Menschen in Nord-Amerika nicht an diese Viren angepasst waren.

Aber auch in Europa und Nord-Afrika stellt West-Nil-Fieber eine ernste Bedrohung für Menschen und Pferde dar. So sind 1994 in Algerien 50 Menschen erkrankt und 8 gestorben, in Rumänien von 1996-2000 sind mehr als 400 Menschen erkrankt und 19 gestorben; in Tunesien 1997 sind 111 erkrankte Menschen (8 Tote), in Italien 1998 sind 6 Menschen gestorben; in Israel sind von 1998-2000 zahlreiche Tote zu verzeichnen, 1999 sind in Russland 826 Menschen erkrankt und 40 gestorben, 2008 und 2009 sind in Italien 4 Menschen erkrankt, 2010 sind in Rumänien 2 Menschen und in Griechenland 15 Menschen gestorben sowie in Russland 231 Menschen erkrankt. Auch 2013 sind innerhalb der EU etwa 230 West-Nil-Fälle und in den benachbarten Ländern mehr als 550 Fälle aufgetreten, vorwiegend im mediterranen und Ost-Europäischen Raum.

Eine möglicher Weise noch größere Bedrohung für die mediterranen Länder kann Dengue-Fieber oder Dengue haemorrhagisches Fieber darstellen, nachdem sich dort *Aedes albopictus* als kompetenter Überträger massiv ausbreitet. Dengue war noch vor etwa 80 Jahren eine ernste Gefahr für die Menschen in Südeuropa. Eine der größten Dengue-

Epidemien herrschte in Griechenland, als mehr als 1 Million Menschen an Dengue im Jahr 1927 erkrankten. Viele hundert Menschen starben an der Krankheit. Heute ist Dengue und Dengue-haemorrhagisches Fieber weltweit in den Tropen die wichtigste Arbovirose, an der vorwiegend Kinder sterben. Die Hauptüberträger sind *Aedes aegypti* (der afrikanische Tigermosquito) und *Aedes albopictus* (der asiatische Tigermosquito). Dengue-Epidemien können dort nicht ausgeschlossen werden, wo sich *Aedes albopictus* ansiedeln kann und ein Reservoir an Viren vorhanden ist.

Gerade wenn ein Krankheitserreger bereits in einem Gebiet verbreitet war, kann er wieder zu einem Problem werden. Touristen können ihn erneut innerhalb einiger Stunden aus anderen Erdteilen einschleppen. Ist zudem der Vektor bereits heimisch, kann es zum Schließen des Infektionskreislaufs kommen.

Erste Warnzeichen für die Bedrohung von Dengue-Ausbrüchen im Süden Europas sind erste einzelne autochthone Fälle, die 2010 in Kroatien bei Split aufgetreten sind, wo ein deutscher Tourist durch einen Stich des asiatischen Tigermoskitos *Ae. albopictus* infiziert wurde sowie in Südfrankreich, wo sich zwei Menschen bei Nizza infiziert haben.

Die Frage, ob Dengue auch in Deutschland ein Problem werden kann, muss eher mit nein beantwortet werden, da das Klima für die Erreger sowie für den Vektor *Ae. albopictus*, nicht günstig ist. Allerdings begünstigen ein Temperaturanstieg sowie die erhöhte Mobilität der Menschen das Auftreten von Virusepidemie auch in Deutschland erheblich.

Eine weitere signifikante Viruserkrankung, die von dem asiatischen Tigermoskito als Primärvektor übertragen wird, stellt Chikungunya-Fieber dar. Chikungunya-Epidemien haben in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit erzeugt, nachdem plötzlich im Jahr 2005 mehr als 300.000 Personen in ReUnion und in den vergangenen zwei Jahren mehr als 2 Million Menschen in Indien mit Chikungunya-Viren infiziert waren.

Im Jahr 2007 (Juli bis Oktober) ist es erstmals zu einem epidemischen Ausbruch dieser tropischen Erkrankung in Italien gekommen. Eine Person reiste aus Indien (Kerala) ein und zeigte Ende Juni Symptome von Chikungunya-Fieber. In der Provinz Ravenna traten im Juli bis Oktober 2007 etwa 250 Fälle von Chikungunya-Fieber auf. Die Krankheitssymptome sind hohes Fieber, Glieder- und Gelenkschmerzen (daher der Name Chikungunya, das auf Suaheli „der gekrümmt Gehende“ heißt. Meist verläuft die Krankheit gutartig. Selten kommt es zu Hämorrhagien. Allerdings sind vor allem ältere Menschen gefährdet, an der Virose zu sterben. So starb auch in der Region Ravenna ein 83-jähriger Mann an dieser Krankheit. Eine Meldepflicht besteht, wenn Hämorrhagien

auftreten. Des Weiteren kommt die Labormeldepflicht gemäß dem Infektionsschutzgesetz zum Tragen.

Man konnte in *Ae. albopictus*-Weibchen das Chikungunya-Virus nachweisen, weshalb man davon ausgehen muss, dass zunächst die Mücke nach Italien eingewandert ist und jetzt neu eingeschleppte Pathogene von ihr übertragen wurden, was zu dieser Epidemie geführt hat. Inwieweit einheimische Stechmücken als Vektoren von Chikungunya-Viren in Frage kommen und ob die Viren transovariell über die Eientwicklung weitergegeben werden können, wird zur Zeit geprüft.

Eine Impfung gegen Chikungunya- sowie gegen Dengue-Fieber existieren zur Zeit nicht, so dass das Vermeiden von Mückenstichen der einzige Schutz darstellt.

Verbreitung von *Aedes albopictus*

Der so genannte asiatische Tigermosquito *Ae. albopictus* stammt ursprünglich aus Südostasien, wo die Entwicklungsstadien (Eier, Larven und Puppen) z.B. in mit Wasser gefüllten Kokoschalen oder Bambusstümpfen, später in künstlichen Containern, wie Wasserfässern, Autoreifen oder anderen kleinen Wasseransammlungen zu finden sind. Charakteristisch ist die schwarze Färbung der Mücke, wobei die weißen Streifen an den Beinen, Brust und Hinterteil ihr eine Tigerähnliche Zeichnung verleihen. Diese exotische Stechmücke verzeichnet innerhalb der letzten Jahrzehnte eine erstaunliche Erweiterung ihres Verbreitungsgebietes. Seit 1979 ist sie durch den Menschen in Afrika, Amerika und Europa, später auch in den pazifischen Raum eingeschleppt worden. Inzwischen kommt sie fast weltweit in tropischen und subtropischen, teilweise auch in warmen gemäßigten Regionen vor. Der zunehmende internationale Warenverkehr und die große Mobilität der Menschen erleichtern die Ausbreitung dieser Stechmücke, aber auch von Human-Pathogenen und Parasiten. Innerhalb weniger Stunden oder Tage können sie von einem Kontinent zum anderen transportiert werden. Mit Hilfe des internationalen Gebrauchtreifenhandels überwand die asiatische Tigermücke selbst große Distanzen von Kontinent zu Kontinent. Die Weibchen legen in den Autoreifen ihre Eier ab. Sammelt sich bei Regen in den Reifen Wasser, schlüpfen die Larven bei geeigneten Temperaturen von mehr als 10°C und entwickeln sich bei hochsommerlichen Temperaturen relativ schnell innerhalb einer Woche bis zum Fluginsekt. Aufgrund seiner Fähigkeit alle möglichen künstlichen Brutgewässer zu nutzen, der Trocken- und Kälte-Resistenz seiner Eier (die Larven in den Eiern können mehrere Jahre auf dem Trockenen lebensfähig überdauern) und die Anspruchslosigkeit bei der Wahl eines geeigneten Blutwirtes (Menschen, Hunde,

Katzen, Nager, Amphibien und Reptilien), schaffte es die Art in den neuen Gebieten schnell ausreichend große Populationen für eine dauerhafte Etablierung aufzubauen. Über den nationalen Warenverkehr wurde sie dann mit rapider Geschwindigkeit in weitere Gebiete verschleppt.

In Europa erschien die Art das erste Mal 1979 in Albanien, bevor sie über Altreifentransporte aus den USA in die Hafenstadt Genua in Italien 1990 ein zweites Mal in den Alten Kontinent eingeschleppt wurde. Innerhalb weniger Jahre verbreitete sie sich rapide in weitere Regionen Italiens und wurde mittlerweile auch in Frankreich, Montenegro, Bosnia-Herzegovina, Belgien, der Schweiz, Niederlande, Griechenland, Slowenien, Kroatien und Spanien nachgewiesen.

Im September 2007 wurde diese Mücke auch erstmals in Deutschland nachgewiesen und tritt somit nun in mindestens 12 europäischen Staaten auf.

Aktivitäten zur Erfassung und Abwehr von *Aedes albopictus*

Die KABS (Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage e.V.- German Mosquito Control Organisation) hat in Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg seit 2005 umfangreiche Untersuchungen zum möglichen Verbreitungspotential in Deutschland anhand von Klima-Modellrechnungen vorgenommen. Diese Modelle stützen sich auf die 18°C Isothermen für Juni-August, die Januar Isotherme von -3°C, die Niederschlagsmengen und Zahl der Frosttage. Die Apfelblüte kann sich als geeigneter Parameter für das Auftreten von *Ae. albopictus* erweisen, da die Blüte einsetzt, wenn die mittlere Tagestemperatur die mittlere Jahrestemperatur eines Ortes überschreitet und an diesem Ort 10°C beträgt. Dies ist die Temperatur bei der die Larven von *Ae. albopictus* nach einer Diapause schlüpfähig sind.

Die Modellberechnungen zeigen, dass eine dauerhafte Etablierung von *Ae. albopictus* innerhalb der Oberrheinischen Tiefebene aufgrund der dort herrschenden günstigen Klimabedingungen zwar möglich ist, allerdings sind die Klimabedingungen grenzwertig für eine schnelle Massenvermehrung.

Im Jahr 2005 initiierte die KABS ein Projekt, um der wachsenden Gefahr einer Einschleppung und Einbürgerung von *Aedes albopictus* in Deutschland entgegen zu wirken. Vorrangiges Ziel ist es, durch Analyse der möglichen Einschleppungswege nach Deutschland alle potentielle Etablierungsorte zu identifizieren und im regelmäßigen Abstand zu überwachen, um ggf. beim Auftreten der Mücke sofort geeignete Bekämpfungsmaßnahmen vornehmen zu können.

Von Anfang Mai bis Ende September wurden alle ermittelten potentiellen Einschleppungsorte mit Hilfe von so genannten Ovitrap (Eiablagefallen) überwacht und diese im 14 Tagesrhythmus auf abgelegte Eier und geschlüpfte Larven untersucht. Zusätzlich wurden in der weiteren Umgebung der Fallenstandorte exponierte Busch- und Baumbestände angelaufen und mittels der „Human-Bait-Methode“ (eine Testperson exponiert ihren Körper) auf anfliegende Stechmücken-Weibchen überprüft. Abgelegte Eier wurden im Labor mit einem Binokular vorbestimmt und anschließend die Larven zum Schlüpfen gebracht und in Brutgefäßen bis zu Imagines gezüchtet, um diese zu bestimmen.

Die Hauptverschleppungsart von *Ae. albopictus* durch menschliche Aktivität ist die Mitnahme der trockenresistenten Eier in Frachtgütern, welche vorher durch Wasseransammlungen als Brutstätte dienten. Im Freien gelagerte Altreifen spielen hierbei die wichtigste Rolle. Ein hohes Einschleppungspotential und Monitoring-Priorität werden daher Firmen mit Altreifenverarbeitung und Handel zugeordnet.

Aufgrund der hohen Luftfeuchte und der kühler Lufttemperatur bieten Frachtcontainer ebenfalls gute Bedingungen für den Transport von Insekten.

Ein hohes Einschleppungspotential, und daher ein Hauptbestandteil des Monitoring-Programmes, haben die Rast- und Parkanlagen entlang der Bundesautobahn 5. Diese durchläuft die gesamte Oberrheinebene in Nordsüdausrichtung und ist Teil einer der wichtigsten durchgehenden Nord-Süd-Autobahnverbindungen Europas von Stockholm bis nach Sizilien. Sie ist eine der Hauptrouten für den LKW- und Reiserückverkehr aus Italien und Südfrankreich nach Deutschland, Skandinavien und den Beneluxländern. Dass ein Transport von *Ae. albopictus* Weibchen über den Auto- und Lastwagenverkehr möglich ist, wurde 2003 in der Schweiz nachgewiesen. Im Rahmen des dort gestarteten Monitoringprogrammes wurden seitdem jedes Jahr weitere aus Italien eingeschleppte Asiatische Tigermücken gefunden und es gibt Hinweise, dass die Zahl der Individuen mit dem Verkehrsaufkommen korreliert.

Bei der Fallenkontrolle im September 2007 befanden sich auf einem Eiablageholz in einer Falle aus dem südlichen Bereich der BAB 5 fünf Eier von *Ae. albopictus*. Nach mehrfachem Überfluten, mit dazwischen liegenden Ruhe-/Trockenphasen sowie Lagerung bei 25°C, sind zwei Larven aus den Eiern geschlüpft. Diese konnten bis zur Imago herangezogen und eindeutig als *Ae. albopictus* identifiziert werden. Damit ist der Erstnachweis von *Ae. albopictus* in Deutschland erfolgt. Das *Aedes*-Weibchen stammt mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit aus Norditalien.

Vor allem am Ende der Ferienzeit in Deutschland, Skandinavien und den Beneluxländern ist eine große Anzahl von Urlaubern auf dem Rückweg aus Italien auf dieser wichtigen Nord-Südverbindung unterwegs. Wohnmobile und Wohnanhänger dürften aufgrund ihrer menschlichen Nutzung eine hohe geruchliche (olfaktorische) Anziehungskraft für *Ae. albopictus* Weibchen am Urlaubsort ausüben. Da diese mobilen Wohnräume während der Fahrt weitestgehend unbenutzt sind, ist die Möglichkeit eines Anfluges der tagaktiven Mücken und daher ihrer Entdeckung während des Transports unwahrscheinlicher als in PKW- und LKW-Fahrgastzellen. Weiterhin können die Weibchen in Italien in den Wohnmobilen Blut gesaugt haben und sich zur Eireifung an dunklen Stellen im Wohnmobil aufgehalten haben. Nach Einreise in Deutschland haben sie das Wohnmobil verlassen und die Eiablage vollzogen.

Wegen der schnellen Ausbreitung von *Ae. albopictus* sowie neudings auch des japanischen Buschmoskito *Oc. japonicus*, der sich seit Anfang des 21. Jahrhunderts in Deutschland und der Schweiz etabliert hat, wurde vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) 2011 ein Projekt mit dem Ziel gestartet, mögliche Importwege exotischer Mücken nach Deutschland aufzudecken und das unterschiedliche Risiko ihrer Etablierung für die einzelnen Regionen abzuschätzen.

Unter der Federführung des Bernhard-Nocht-Instituts für Tropenmedizin in Hamburg (BNI) untersuchten 10 Forschungsgruppen die verschiedenen Einschleppungswege und Verbreitungsareale exotischer Stechmücken in ganz Deutschland. Die KABS und Universität Heidelberg untersuchten in Zusammenarbeit mit dem Institut für Dipterologie vor allem die Autobahnen A5, A6 und A81 in Südwest-Deutschland, um die weitere Einschleppung von *Ae. albopictus* zu überwachen. Weiterhin wurden in einem Raster Friedhöfe in Baden-Württemberg auf das Vorkommen von *Oc. japonicus* untersucht, um das Verbreitungsgebiet dieser Stechmücke zu dokumentieren.

Im Zeitraum von April bis Oktober 2012 und 2013 wurden Raststätten bzw.

Autohöfe in 2-wöchigem Rhythmus mit CO₂-Saugfallen (BG-Sentinel, Biogents®) und Eiablagefallen (Ovitrap) beprobt. Dabei konnten im Jahr 2012 an einer Raststätte an der Autobahn A5 im südlichen Baden-Württemberg während August und Oktober insgesamt 8 *Aedes albopictus*-Weibchen gefangen werden. Im Jahr 2013 hat sich die Situation noch verschärft. Es wurden an 6 Standorten insgesamt 14 adulte *Ae. albopictus* sowie 4 Eiergelege gefunden. Weitere Tiere sowie Eiergelege wurden an der A92 von Wissenschaftlern der Firma Biogent gefunden. Regelmäßig konnten auch Weibchen von *Oc. japonicus* gefangen werden. In weiten Teilen Baden-Württembergs sowie in

Teilen von Rheinland-Pfalz, Nordrhein-Westfalen und Niedersachsen konnte die Art nachgewiesen werden. *Oc. japonicus* hat sich in Deutschland etabliert und kommt inzwischen schon in einem Areal von mehr als 10.000 km² vor.

Beide Arten sind wichtige Überträger von Viruserkrankungen. *Aedes albopictus* ist ein Vektor von mindestens 22 Arboviren, einschließlich Chikungunya-, Dengue-, West-Nil- und Gelbfieber-Viren sowie von *Dirofilaria immitis* (Hunde-Herzwurm). *Oc. japonicus* ist ein kompetenter Vektor von mehreren Arboviren, wie West-Nil (WN)-Virus und Japanische Enzephalitis (JE)-Virus, aber er kann auch St. Louis Enzephalitis-, Eastern Equine Enzephalitis- und La Crosse-Viren übertragen und gilt als eine bedeutende Gefahr für die Gesundheit der Menschen.

Zusammen mit dem Bernhard-Nocht-Institut wurde ein Frühwarnsystem aufgebaut, um eine potentielle Bedrohung der Menschen durch von Stechmücken übertragene Viren schnell zu erfassen. Hunderttausende von Stechmücken wurden auf Viren untersucht und so z.B. erstmals Sindbis-Viren und Usutu-Viren in Deutschland nachgewiesen. Nachdem die Usutu-Viren 2010 in Stechmücken auftraten, kam es 2011 und 2012 zu einem Massensterben von Vögeln, insbesondere von Amseln im Oberrheingebiet. Hunderttausende Vögel verendeten qualvoll. Dieses Beispiel zeigt, wie wichtig ein Überwachungsprogramm für von Stechmücken übertragene Krankheiten auch in Deutschland ist.

Fazit: Die Stechmücken stellen in Deutschland vorwiegend eine Belästigung dar, die allerdings die Lebensqualität in einigen Gebieten, wie dem Oberrheingebiet, massiv reduzieren können. Deshalb werden sie dort umweltverträglich biologisch bekämpft. Trotzdem muss man das Risiko, von Stechmücken übertragenen Krankheiten, wie z.B. dem West-Nil Fieber auch in Deutschland infiziert werden zu können, ernst nehmen.

Der Import von Stechmücken (z. B. durch den Reifenhandel oder Verkehrsmittel) muss verhindert bzw. bekämpft werden. Durch Touristen eingeschleppte Pathogene/Parasiten müssen schnell diagnostiziert und behandelt werden.

Die Stechmücken und die Krankheitserreger kennen keine Grenzen und sind ebenfalls ein Teil der Globalisierung, demzufolge muss international zusammengearbeitet werden. Ein Ansteigen der Temperatur begünstigt die Ausbreitung von Stechmücken sowie von Krankheitsüberträgern. Allerdings ist die Mobilität der Menschen und der internationale Warenverkehr weit stärker an der Ausbreitung der Parasiten und der Überträger beteiligt als die steigenden Temperaturen.