

Die Rolle der Globalisierung und Klimaveränderung auf die Entwicklung von Stechmücken und von ihnen übertragenen Krankheiten in Zentral-Europa

Norbert Becker

Eingegangen: 21. Januar 2009/Akzeptiert: 24. Februar 2009/Online veröffentlicht: 20. März 2009
© Springer-Verlag 2009

Zusammenfassung Stechmücken und von ihnen übertragene Krankheiten kennen keine Grenzen. Die schnelle Ausbreitung von Vektoren und Krankheiten ist eine Folge der Globalisierung, die verbunden ist mit einer höheren Mobilität der Menschen und dem internationalen Handel, sowie Klimaveränderungen. Höhere Temperaturen begünstigen nicht nur die Entwicklung der Stechmücken, sondern vor allem auch die Entwicklung der Krankheitserreger in ihren Vektoren. Ein Anstieg der Temperatur um etwa 2 °C verkürzt die Entwicklungszeit von *Anopheles messeae* (ein Überträger von Plasmodien in Deutschland) um etwa drei Tage, was eine Verkürzung des gonotrophischen Zyklus sowie eine Zunahme der Zahl der Generationen der Überträger zur Folge hat. Die Zunahme der Brutplätze für potenzielle Malaria-Überträger, wie *Anopheles plumbeus*, durch Veränderung der landwirtschaftlichen Praxis erhöhen den Kontakt der Menschen im urbanen Bereich mit Malaria-Überträgern. Ungenutzte Jauchegruben sind ideale Brutstätten für *An. plumbeus*. Allerdings wird Malaria auf Grund der hygienischen und medizinischen Versorgung in Deutschland keine wichtige Rolle mehr spielen. Die Invasion von neuen Stechmückenarten wie *Stegomyia albopicta* (früher *Aedes albopictus*) wird durch die Migration von Menschen und den internationalen Handel

wesentlich gefördert. In Deutschland wurde diese Art erstmals im Jahr 2007 gefunden. Innerhalb von etwa drei Jahrzehnten ist diese Art, die ihre Heimstatt in Südostasien hat, in 13 europäischen Staaten nachgewiesen worden. Damit wird das Risiko von Arbovirosen in Europa wesentlich erhöht.

Schlüsselwörter Asiatischer Tigermoskito · Europa · Globalisierung · Klimaveränderung · Stechmücken · *Stegomyia albopicta* · Von Stechmücken übertragene Krankheiten

The impact of globalization and climate change on the development of mosquitoes and mosquito-borne diseases in Central Europe

Abstract Mosquitoes and mosquito-borne diseases know no borders, and their spread is a consequence of globalization related to high mobility of humans and international trade as well as on climate change. Higher temperatures and precipitation favour the development of mosquitoes as well as the pathogens and parasites which are transmitted by mosquitoes. An increase of about 2 °C would shorten the time for the development of larvae and pupae of *Anopheles messeae* (vector of malaria) by almost three days resulting in an increase of gonotrophic cycles and number of generations. The higher numbers of breeding sites for *Anopheles* species such as *An. plumbeus* in cess pools due to the change of agricultural practises increase the contact with potential vectors of malaria as well. However, at least in Germany, malaria will not play an important role anymore. The invasion of new species such as *Stegomyia albopicta* (formerly *Aedes albopictus*) is enhanced by human migration and international trade. *St. albopicta* was first discovered in Germany in 2007. Nowadays, this species, originally from

Dieser Beitrag ist Herrn Prof. Dr. Dr. h. c. Volker Storch zum 65. Geburtstag gewidmet.

Herausgeber: Henner Hollert · Thomas Braunbeck

N. Becker (✉)

Wissenschaftlicher Direktor der KABS,
Ludwigstr. 99, 67165 Waldsee, Deutschland
E-Mail: NorbertFBecker@web.de

und

Executive Director of the European Mosquito Control Association (EMCA),

Universität Heidelberg, Zoologisches Institut,
Im Neuenheimer Feld 230, 69120 Heidelberg, Deutschland

Southeast Asia, occurs in 13 European states. Thus, the risk for outbreaks of arboviroses is increased.

Keywords Asian tiger mosquito · Climate change · Europe · Globalisation · Mosquitoes · Mosquito-borne diseases · *Stegomyia albopicta*

1 Problemstellung

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 zu 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 Millionen Menschen an Malaria erkrankt; jährlich sterben nach Schätzung der Weltgesundheitsorganisation mehr als 3 Millionen Menschen an dieser Infektionserkrankung (etwa alle 30 Sekunden ein Mensch), die von *Anopheles*-Mücken übertragen wird (WHO 1997). Dengue-Viren werden durch den Stich einer Mücke, vorwiegend durch den Gelbfieber-Mosquito *Stegomyia aegypti* übertragen. Mehr als 2 Milliarden Menschen, meist in den planlos wachsenden Mega-Cities der Tropen, leben mit dem Risiko, an Dengue-Fieber oder sogar dem oft tödlich verlaufenden hämorrhagischen Dengue-Fieber zu erkranken. Die betroffenen Menschen müssen Wasser wegen der mangelnden Leitungswasserversorgung in Containern speichern und schaffen damit ideale Brutstätten für *St. 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 soll der Frage nachgegangen werden, ob durch Mücken übertragene Krankheiten in Deutschland eine größere Bedeutung erlangen können, und zwar im Hinblick auf eine Klimaveränderung, eingeschleppte Mücken bzw. Parasiten oder geänderte Lebensgewohnheiten, wie es die erhöhte Mobilität der Menschen und der internationale Warenverkehr sind. In dieser Risikoanalyse soll insbesondere das Zusammenwirken zwischen dem Überträger, also

den Stechmücken und den Krankheitserregern bzw. den Pathogenen bzw. Parasiten, beleuchtet werden. Dabei müssen insbesondere folgende Zusammenhänge berücksichtigt werden:

1. *Die direkte Interaktion zwischen Stechmücken und Krankheitserregern* Eine Übertragung durch Vektoren kann in der Regel nur dann erfolgreich sein, wenn der Krankheitserreger sich in der Mücke vervielfältigen, 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 dann 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* 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 1000 Menschen aus Deutschland während Fernreisen in den Tropen an Malaria (Löscher 1998). 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 zu bewerten?

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.

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

Die menschliche Malaria wird durch vier Erreger ausgelöst:

- *Plasmodium falciparum* (Erreger der Malaria tropica),
- *P. vivax* (Erreger des Drei-Tage-Fiebers) sowie
- *P. ovale* und
- *P. malariae* (Erreger der Malaria quartana).

Überträger sind ausschließlich *Anopheles*-Arten.

Um die Auswirkungen einer Klimaveränderung einschätzen zu können, muss man den Lebenszyklus der Überträger, der Anophelinen, sowie der Krankheitserreger, der Plasmodien, näher beleuchten. Sticht ein infiziertes *Anopheles*-Weibchen, so 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), dringen danach in rote Blutkörperchen ein, 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 (Becker et al. 2003). 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 Menschen etwa zwei Wochen (*P. falciparum*: 9–14 Tage, *P. vivax*: 12–17 Tage).

2.1 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 Ma-

laria-Infektion nimmt mit steigender Temperatur somit zu. Allerdings besteht ein Zusammenhang zwischen der Lebensdauer einer Mücke und der Temperatur. Bei tiefen Temperaturen leben Mücken länger, bei höheren kürzer, bei extremen Temperaturen können sowohl 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 26–32°C liegen.

2.2 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 vor allem die Temperatur, welche die Abfolge der Generationen und Größe der Vektorpopulation beeinflusst.

Der Einfluss der Temperatur auf die Entwicklung der Stechmücken kann nach folgenden Formeln bestimmt werden (diese Formeln können ebenso grob Auskunft über die temperaturabhängige Entwicklung der Plasmodien in den Mücken geben):

Die zur Entwicklung benötigte Temperatursumme ist jeweils bei einer Art konstant und gleicht dem Produkt aus der Entwicklungsdauer (D) und der über dem Entwicklungsnullpunkt (t_0) liegenden Temperatur (Tischler 1984). Die Thermalkonstante (K) berechnet sich nach folgender Formel:

$$K = D \times (t - t_0)$$

Diese Formel beschreibt eine Hyperbel.

Der Entwicklungsnullpunkt wird nach folgender Formel (Tischler 1984) berechnet:

$$t_0 = t_1 - \frac{D_2 \cdot (t_2 - t_1)}{D_1 - D_2}$$

wobei D_1 der Dauer der Entwicklung bei niedriger Temperatur (t_1) und D_2 der Dauer der Entwicklung bei höherer Temperatur (t_2) entspricht.

Nach Bestimmung des Entwicklungsnullpunktes lässt sich durch Einsetzen der experimentell gemessenen Werte in beide o. g. Formeln für jede Versuchstemperatur die Thermalkonstante berechnen, die unter idealen Bedingungen für alle Temperaturen gleich sein muss.

Für den wichtigsten Überträger der autochthonen Malaria in Süddeutschland, *Anopheles messeae*, ergeben sich die in Tabelle 1 dargestellten Ergebnisse.

Ein Anstieg der Temperatur beschleunigt nicht nur die Entwicklung der Stechmücken in ihren Brutgewässern, sondern auch andere Phasen des Lebenszyklus, wie die Häufigkeit der Blutmahlezeiten, die Dauer des gonotrophischen Zyklus (Dauer von der Blutmahlzeit bis zur Entwicklung der

Tabelle 1 Entwicklungsgeschwindigkeit von *Anopheles messeae* bei verschiedenen Temperaturen und die daraus resultierende Temperaturkonstante ($t_0=1,94^\circ\text{C}$)

Temperatur ($^\circ\text{C}$)	15	20	25
Tage	34,87	25,47	19,75
Thermalkonstante	455,4	459,99	455,44

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 (Dhiman et al. 2008; Snow 2008).

3 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 Sumpfböden wegen der Malaria nicht besiedelt werden.

Die bevorzugten Brutbiotope der in Deutschland vorherrschenden sechs *Anopheles*-Arten, die Malaria übertragen können (die erstgenannten drei Arten gehören dem *Anopheles-Maculipennis-Complex* an), sind:

- *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, in Marschen entlang von Küsten;
- *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 ausschließlich *P. vivax*, Erreger des Drei-Tage-Fiebers, übertragen. Es ist bemerkenswert, dass damals Tausende Menschen an Malaria in Europa gestorben sind. Heute kommt es in den Tropen nur in sehr seltenen Fällen durch eine Infektion mit *P. vivax* zu Todesfällen. Die letalen Fälle gehen fast ausschließlich auf Infektionen mit *P. falciparum* zurück. Man kann davon ausgehen, dass sich die Virulenz von *P. vivax* im Rahmen der Evolution verringert hat. Es ist ein Vorteil für einen Parasiten, wenn er seinen Wirt nicht abtötet, so wie es vorwiegend heute bei einer Infektion mit

P. falciparum geschieht, sondern den Wirt für eine ständige Infektionsquelle am Leben lässt. Auch die Ausbildung von so genannten 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 überdauern, also zu ungünstigen Jahreszeiten, wenn die Vektoren schlechte Entwicklungsbedingungen haben.

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.

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

1. 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.
2. 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 Weibchen von *An. maculipennis* s.l. 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.
3. 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 bevorzugten 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.

- 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 zu, trotz günstigerer Klimabedingungen.

5 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 Vektor-Moskitos. Neben dem Angebot an geeigneten Brutstätten für die Stechmücken sind es besonders die Temperaturverhältnisse, welche die Übertragung von Parasiten beeinflussen, neben dem Niederschlag als Regen und der rel. Luftfeuchte, die höher als 60% sein sollte. 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 2007) 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 folgenden drei Zeitperioden gegenübergestellt: a) 1947–1966; b) 1967–1986; c) 1987–2006 (Abb. 1).

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 2,3 Tage bedeuten. Das heißt, dass sowohl die Zahl der Generationen von *An. messeae* zunimmt als auch der gonotrophische Zyklus verkürzt wird.

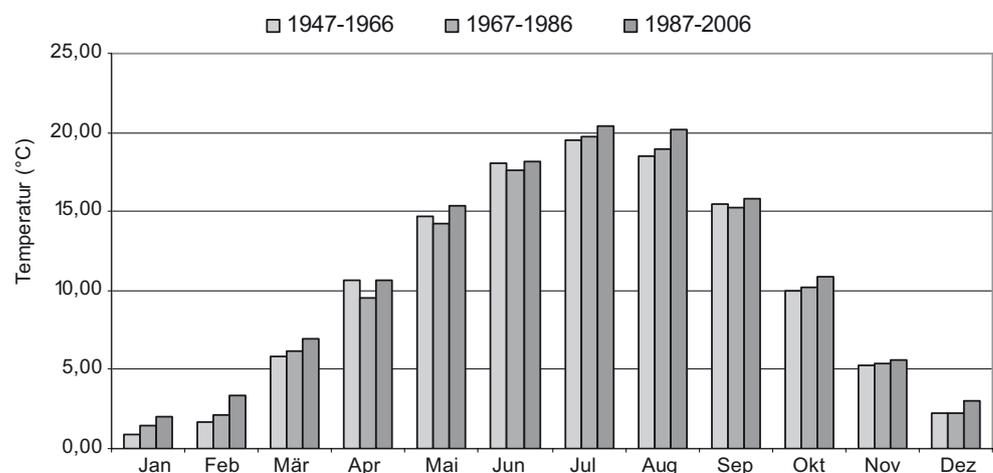
Durch die Erhöhung der Temperaturen und die lokalen, oft starken Niederschläge ist in den vergangenen zwanzig Jahren das zeitliche Fenster für die Bekämpfung der Mücken am Oberrhein deutlich größer geworden. In den 1980er-Jahren hatte man mit der Bekämpfung meist Mitte April begonnen; heute muss bereits im März bekämpft werden. Während früher die Bekämpfung Mitte September beendet war, musste man in den letzten Jahren noch im Oktober bekämpfen. Durch die Klimaveränderung, d.h. die höheren Temperaturen und die stark schwankenden Niederschläge, hat die Sequenz der Bekämpfungsaktionen stark zugenommen. Dies bringt gestiegene Kosten für die Bekämpfung mit sich.

6 Kann es in Deutschland wieder zur bodenständigen (autochthonen) Malaria kommen?

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

Abb. 1 20-Jahres-Durchschnitt der Temperatur in Mannheim



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 und die Erreger nicht durch Überträger verbreitet werden, sind es in Europa Einzelschicksale, die leider in Einzelfällen auch tödlich verlaufen können. Auch infizierte Mücken können mit Flugzeugen aus den Tropen eingeschleppt werden und zur so genannten 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.

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

In der Regel muss eine Anpassung zwischen dem Überträger und dem Parasiten 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 (Marchant et al. 1998).

Diese Erkenntnis hat für uns in Deutschland eine besondere Bedeutung. Die Fiebertmücke *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, hat sich in den letzten Jahrzehnten das Verhalten dieser Mücken gravierend geändert. Sie haben künstliche Sickergruben als Brutareale entdeckt. Während in natürlichen Baumhöhlen nur wenige Mücken brüten, können sich in Sickergruben, in quasi riesigen künstlichen „Baumhöhlen“, 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.

Als mögliche Überträger von Malariaparasiten müssen sie daher besonders sorgfältig beobachtet 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 Weibchen von *Anopheles plumbeus*, die mit *P. falciparum* infiziertes Blut aufgenommen haben, nicht nur Oocyten, sondern auch Sporozoitien entwickeln konnten, die in die Speicheldrüsen eingewandert sind. Damit kann *An. plum-*

beus auch die Erreger der tödlichen Malaria tropica übertragen (Kotter 2005).

6.2 Maßnahmen zur Reduktion des Malaria-Risikos

Die KABS (Kommunale Aktionsgemeinschaft zur Bekämpfung der Schnakenplage e. V. – German Mosquito Control Organisation) 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* (Culindex 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 von den KABS-Mitarbeitern auch 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 Formulierungen des *Bacillus thuringiensis israelensis* wird auch die Population von *An. maculipennis* s.l. stark reduziert, so dass auch dadurch das Malaria-Risiko weiter reduziert wird.

6.3 Fazit

Es ist 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 Weibchen von *Anopheles maculipennis* s.l. zurückgegangen. Die gute gesundheitliche und hygienische Versorgung der Bevölkerung und die damit verbundene umgehende Behandlung von mit Plasmodien infizierten 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 belastetes Regenwasser einfließen kann, sind massenhaft Brutareale für *An. plumbeus* entstanden. Dies zeigen die zunehmenden Klagen, die bei der KABS bundesweit eingehen. *Anopheles 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 in 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.

7 Stellen Arboviren eine Gefahr für die Menschen in Deutschland dar?

Von Stechmücken übertragene Viren (so genannte Arboviren) stellen aus Sicht des Verfassers im Vergleich zur bodenständigen Malaria eine weit größere Gefahr für die Menschen in Deutschland dar. Seit Jahrzehnten sind die so genannten Tahyna-Viren bekannt, die z. B. in Hasen vorkommen und von Mücken auf den Menschen übertragen, eine Art Sommergrippe mit milden Symptomen (Kopfschmerzen, leichtes Fieber) hervorrufen. Im Oberrheingebiet konnten noch vor 20 Jahren in vielen Menschen Antikörper gegen diese Viren nachgewiesen werden, was auf eine relativ hohe Infektionsrate hinweist. In den letzten Jahren sind Infektionen, wahrscheinlich bedingt durch die Bekämpfung der Mücken oder durch Reduktion des Tierreservoirs, ständig zurückgegangen. Tahyna-Viren stellen somit in Deutschland keine ernste Gefahr mehr dar, wenngleich nahe verwandte Arten in den USA schwere Erkrankungen (Enzephalitis) mit Todesfolgen hervorrufen können.

West-Nil-Virus Weit gefährlicher ist das so genannte West-Nil-Virus. Dieses Virus wurde 1937 in Uganda im Bereich des West-Nil-Gebiets entdeckt. Es kommt vor allem in wildlebenden Vögeln vor (Krähen können sterben, andere Vögel zeigen keine Symptome). Diese infizieren sich mit den Viren in ihren Winterquartieren in Afrika, die dadurch mit den ziehenden Vögeln nach Europa importiert werden. So ist es 1996 und 1997 in Rumänien geschehen. Vögelstechende Stechmücken, wie z. B. unsere Hausmücken, *Culex p. pipiens*, haben zunächst die Viren in der Vogelpopulation ausgebreitet. Ist die Virämie in der Vogelpopulation hoch, kann das Virus 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 (CDC 2003). 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.

Dengue Noch vor etwa 80 Jahren war Dengue eine ernste Gefahr für die Menschen in Südeuropa. Eine der größten Dengue-Epidemien herrschte in Griechenland, als im Jahr 1927 mehr als 1 Million Menschen an Dengue erkrankten. Viele hundert Menschen starben an der Krankheit. Heute ist Dengue und hämorrhagisches Dengue-Fieber weltweit in den Tropen die wichtigste Arbovirose, an der vorwiegend Kinder sterben (Halstead and Papaevangelou 1980). Die Hauptüberträger sind *St. aegypti* (der afrikanische Tigermoskito) und *St. albopicta* (der asiatische Tigermoskito). Dengue-Epidemien können dort nicht ausgeschlossen werden, wo sich *St. albopicta* 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.

Die Frage, ob Dengue auch in Deutschland ein Problem werden kann, muss eher mit „nein“ beantwortet werden, da das Klima für die Erreger nicht günstig ist. Allerdings begünstigen ein Temperaturanstieg sowie die erhöhte Mobilität der Menschen das Auftreten einer Virusepidemie signifikant.

Chikungunya-Epidemien haben in den letzten Jahren große Aufmerksamkeit erzeugt, nachdem plötzlich im Jahr 2005 mehr als 300.000 Personen in Réunion, 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 300 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 (ECDC 2008).

Man konnte in *St. albopicta*-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 zurzeit geprüft.

Eine Impfung gegen Chikungunya-Fieber existiert zurzeit nicht, so dass das Vermeiden von Mückenstichen der einzige Schutz darstellt.

7.1 Verbreitung von *St albopicta*

Der so genannte asiatische Tigermoskito *St. albopicta* 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 der Fähigkeit der Art, alle möglichen künstlichen Brutgewässer zu nutzen, der Trocken- und Kälte-Resistenz ihrer Eier (die Larven in den Eiern können mehrere Jahre auf dem Trockenen lebensfähig überdauern) und der Anspruchslosigkeit bei der Wahl eines geeigneten Blutwirtes (Menschen, Hunde, Katzen, Nager, Amphibien und Reptilien), schaffte sie es, 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 und wurde 1990 über Altfreifentransporte aus den USA

in die Hafenstadt Genua in Italien ein zweites Mal in den „Alten Kontinent“ eingeschleppt. Innerhalb weniger Jahre verbreitete sie sich rapide in weitere Regionen Italiens und wurde mittlerweile auch in Frankreich, Montenegro, Bosnien-Herzegovina, Belgien, der Schweiz, den Niederlanden, Griechenland, Slowenien, Kroatien und Spanien nachgewiesen.

Im September 2007 wurde diese Mücke auch in Deutschland nachgewiesen und tritt somit nun in 13 europäischen Staaten auf (Pluskota et al. 2008a).

7.1.1 Aktivitäten zur Erfassung und Abwehr von *St albopicta*

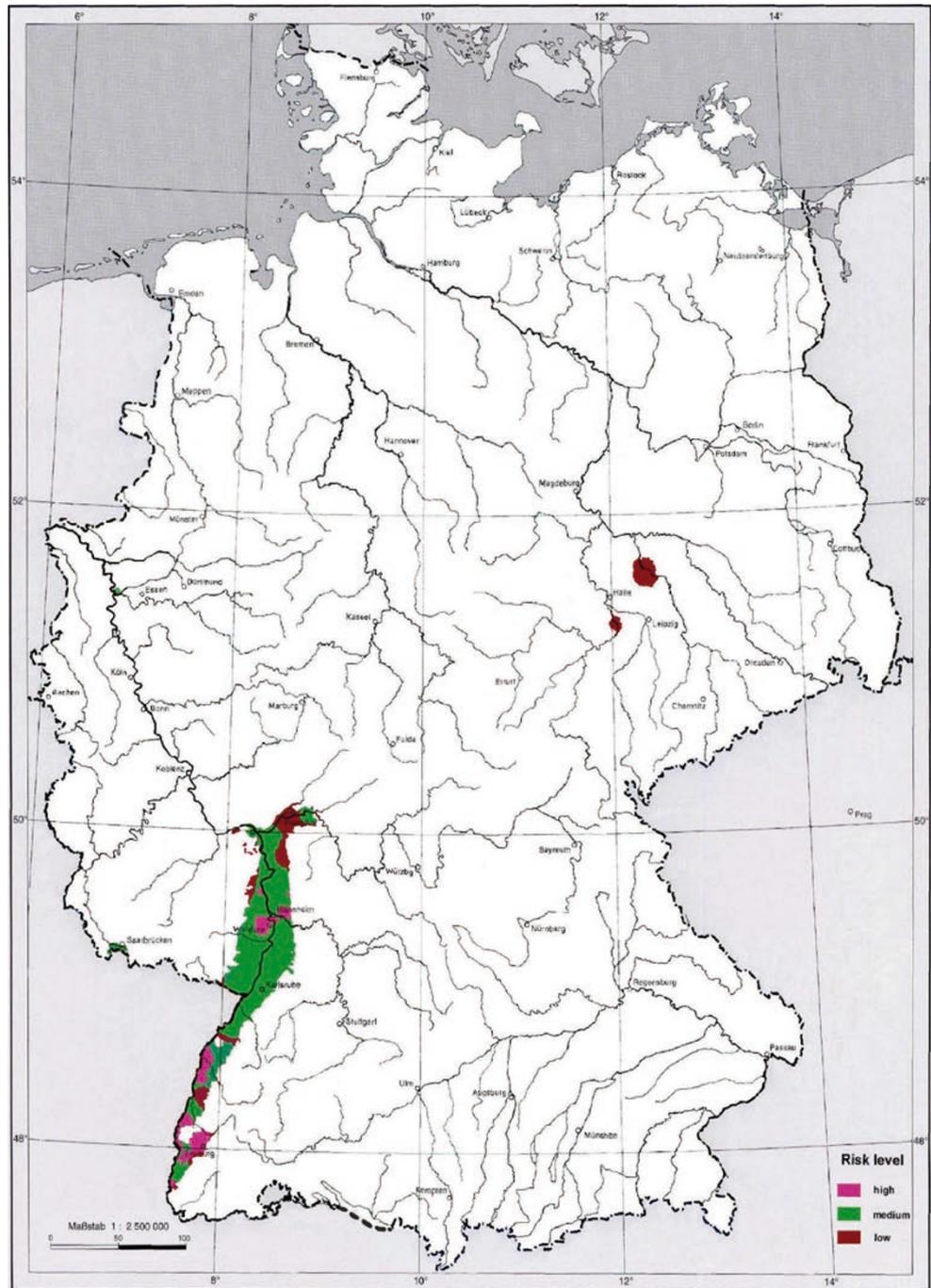
Die KABS hat in Zusammenarbeit mit der Universität Heidelberg umfangreiche Untersuchungen zum möglichen Verbreitungspotenzial in Deutschland anhand von Klimamodelrechnungen vorgenommen (Pluskota et al. 2009). Diese Modelle stützen sich auf die 18 °C-Isothermen für Juni bis August, die Januar-Isotherme von –3 °C, die Niederschlagsmengen und Zahl der Frosttage. Die Apfelblüte kann sich als geeigneter Parameter für das Auftreten von *St. albopicta* 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 *St. albopicta* nach einer Diapause schlüpfähig sind.

Die Modellberechnungen zeigen, dass eine dauerhafte Etablierung von *St. albopicta* innerhalb der Oberrheinischen Tiefebene aufgrund der dort herrschenden günstigen Klimabedingungen möglich ist (Pluskota et al. 2009). Mit ansteigender Temperatur können auch weitere Teile Deutschlands von dieser Mücke besiedelt werden (Abb. 2).

Im Jahr 2005 initiierte die KABS ein Projekt, um der wachsenden Gefahr einer Einschleppung und Einbürgerung von *St. albopicta* in Deutschland entgegen zu wirken. Vorrangiges Ziel ist es, durch Analyse der möglichen Einschleppungswege nach Deutschland alle potenziellen 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 werden alle ermittelten potenziellen Einschleppungsorte mit Hilfe von so genannten Ovitrap (Eiablagefallen) überwacht und diese im 14-Tagesrhythmus auf abgelegte Eier und geschlüpfte Larven untersucht. Zusätzlich werden 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 werden im Labor mit einem Binokular vorbestimmt und anschließend die Larven zum Schlüpfen gebracht und in Brutgefä-

Abb. 2 Potenzielle Verbreitungsgebiete von *St. albopicta* in Deutschland (Pluskota et al. 2008)



ben bis zu Imagines gezüchtet. Die Artbestimmung der geschlüpften Imagines wurde mit dem Bestimmungsschlüssel nach Becker et al. (2003) vorgenommen.

Die Hauptverschleppungsart von *St. albopicta* durch menschliche Aktivität ist die Mitnahme der trockenresistenten Eier in Frachtgütern, welche vorher durch Wasseransammlungen als Brutstätte dienen. Im Freien gelagerte Altreifen spielen hierbei die wichtigste Rolle. Ein hohes Einschleppungspotenzial und Monitoring-Priorität wer-

den daher Firmen mit Altreifenverarbeitung und Handel zugeordnet.

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

Ein hohes Einschleppungspotenzial, und daher ein Hauptbestandteil des Monitoring-Programms, haben die Rast- und Parkanlagen entlang der Bundesautobahn (BAB) 5. Diese durchläuft die gesamte Oberrheinebene in Nord-Süd-Aus-

richtung und ist Teil einer der wichtigsten durchgehenden Nord-Süd-Autobahnverbindungen Europas von Stockholm bis nach Sizilien. Sie ist eine der Haupttrouten für den LKW- und Reiserückverkehr aus Italien und Südfrankreich nach Deutschland, Skandinavien und den Beneluxländern. Dass ein Transport von *St. albopicta* Weibchen über den Auto- und Lastwagenverkehr möglich ist, wurde 2003 in der Schweiz nachgewiesen. Im Rahmen des dort gestarteten Monitoringprogramms wurden seitdem jedes Jahr weitere aus Italien eingeschleppte Asiatische Tigermücken gefunden, und es gibt Hinweise, dass die Zahl der Individuen mit dem Verkehrsaufkommen korreliert.

Zusätzlich zu der Überwachung der potenziellen Einschleppungsorte werden die dazugehörigen Firmen angeschrieben und um Mitarbeit gebeten. Bei Interesse werden in einem Gespräch die Verantwortlichen aufgeklärt, gemeinsam die Wahrscheinlichkeit einer Einschleppung durch die Firmentätigkeit erörtert und die weitere Vorgehensweise besprochen. Bei einigen Fällen zeigte sich erst in diesen Gesprächen, dass die Gefahr einer Einschleppung eher unwahrscheinlich oder gar nicht gegeben ist. In anderen Treffen ergaben sich wiederum hilfreiche Hinweise auf weitere Einschleppungsmöglichkeiten und Kontaktdaten von bisher unbekanntem Firmen.

Insgesamt konnten seit Beginn des Monitoringprogramms vier Culicidenarten in den Eiablagefallen nachgewiesen werden. Es waren vorwiegend die in Baumhöhlen vorkommenden (dendrolimnobiologisch lebenden) einheimischen Arten *Aedes geniculatus* und *Anopheles plumbeus*. Vereinzelt wurde *Culex p. pipiens* gefunden. Bei der Fallenkontrolle im September 2007 befanden sich auf einem Eiablageholz in einer Falle aus dem südlichen Bereich der BAB 5 fünf Eier von *St. albopicta*. 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 *St. albopicta* identifiziert werden. Damit ist der Erstnachweis von *St. albopicta* in Deutschland erfolgt. Das *Stegomyia*-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-Süd-Verbindung unterwegs. Wohnmobile und Wohnanhänger dürften aufgrund ihrer menschlichen Nutzung eine hohe geruchliche (olfaktorische) Anziehungskraft für *St. albopicta* 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 und sich zur

Eireifung an dunklen Stellen im Wohnmobil aufgehoben haben. Nach Einreise in Deutschland haben sie das Wohnmobil verlassen und die Eiablage vollzogen (Pluskota et al. 2008a).

8 Fazit

Die Stechmücken stellen in Deutschland vorwiegend eine Belästigung dar, die allerdings die Lebensqualität in einigen Gebieten, wie dem Oberrheingebiet, massiv reduzieren kann. 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.

Danksagung Die Mitarbeit von folgenden Personen bei der Erstellung des Manuskripts wird hiermit dankend gewürdigt: Diplom-Biologen/ in Björn Pluskota, Ute Timmermann, und Achim Kaiser, Dr. Katarzyna Rydzanicz sowie Dr. Christian Weisser.

Literatur

- Becker N, Petric D, Zgomba M, Boase C, Dahl C, Lane J, Kaiser A (2003) Mosquitoes and their control. Kluwer Academic Publishers, New York, London, pp 497
- CDC (2003) 2003 West Nile Virus activity in the United States (www.cdc.gov)
- ECDC (2008) Europe faces heightened risk of vector-borne disease outbreaks such as chikungunya fever. ECDC, Stockholm (www.eurosurveillance.org)
- Dhiman R, Pahwa S, Dash A (2008) Climate change and malaria in India: Interplay between temperatures and mosquitoes. Regional Health Forum, 12(1)
- Halstead S, Papaevangelou G (1980) Transmission of Dengue 1 and 2 Viruses in Greece in 1928. *Am J Trop Med Hyg* 29(4):635–637
- IPCC (2007) Climate Change 2007. Fourth IPCC Assessment Report
- Kotter H (2005) Bionomie und Verbreitung der autochthonen Fiebertmücke *Anopheles plumbeus* (Culicidae) und ihrer Vektorkompetenz für *Plasmodium falciparum*, Erreger der Malaria tropica. Dissertation, Universität Heidelberg, Fakultät für Biowissenschaften
- Löscher Th (1998) Malaria – Entwicklungsland Deutschland? *Dtsch Ärztebl* 95(43)

- Marchant P, Eling W, van Gemert G-J, Leake J, Curtis CF (1998) Could British mosquitoes transmit falciparum malaria? *Parasitology Today* 14(9):344–345
- Pluskota B, Storch V, Braunbeck Th, Beck M, Becker N (2008a) First record of *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae) in Germany. *European Mosquito Bulletin* 25(2008):1–5
- Pluskota B, Storch V, Braunbeck Th, Becker N (2009) *Aedes (Stegomyia) albopictus* Skuse (Diptera: Culicidae) in Germany. *European Mosquito Bulletin* (in Bearbeitung)
- Snow K (2008) Malaria and mosquitoes in Britain – effect of global climate change (www.uel.ac.uk/mosquito/issue4/climate-change.htm)
- Tischler W (1984) Einführung in die Ökologie. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart-New York
- WHO (1997) World malaria situation in 1994. Part I. Population at risk. *Wkly Epidem Rec* 72(36):269–274