3.2.6 Biologie, Ökologie und medizinische Bedeutung von Stechmücken in Deutschland

Martin Pfeffer & Gerhard Dobler

Biologie, Ökologie und medizinische Bedeutung von Stechmücken in Deutschland: *Die Biologie und Ökologie der etwa 45 Stechmückenarten, die in Deutschland vorkommen, unterscheidet sich in Abhängigkeit von passenden Bruthabitaten und Nahrungsquellen erheblich. Wir zeigen hier eine vereinfachte Gruppierung der vorkommenden Arten, die - basierend auf der Art ihrer Eiablage, ihrer Überwinterung, der bevorzugten Wirte für eine Blutmahlzeit sowie der Anzahl an Generationen pro Jahr - das Potential der jeweiligen Art darstellt, Arboviren zu übertragen. Die Etablierung eines autochtonen Übertragungszyklus von Arboviren ist von vielen, teilweise noch nicht bekannten Faktoren abhängig. In Deutschland werden seit wenigen Jahren vermehrt Stechmücken-übertragene Viren nachgewiesen, von denen sich zumindest das Usutu-Virus erfolgreich etabliert hat und nun das dritte Jahr in Folge endemisch vorkommt. Untersuchungen aus Österreich deuten daraufhin, dass dies direkt mit der stetigen Erwärmung in Europa korreliert. Dieses Kapitel soll den möglichen Einfluss des prognostizierten Klimawandels auf die Fähigkeit einheimischer Stechmückenarten beleuchten, Viren zu übertragen, speziell im Hinblick auf erhöhte Temperaturen und veränderte Niederschlagsmengen. Interdisziplinäre Forschung ist dringend notwendig, um die komplexen Zusammenhänge zwischen Stechmücken, Viren und Umwelteinflüssen besser zu verstehen und damit auch einen besseren Gesundheitsschutz zu gewährleisten. Das neue Vorkommen von gleich drei Arboviren (Usutu-, Batai- und Sindbis-Virus) in Deutschland bietet hierzu beste Möglichkeiten.*

Biology, Ecology and Medical Significance of Mosquitoes in Germany: *The biology and ecology among the ca. 45 mosquito species known to occure in Germany differ very much depending on the availability of suitable breeding and feeding grounds. A simplified grouping of the mosquito species based on oviposition, overwintering stage, preferred host for blood meals, and number of generations per year is provided in order to get an overview on their putative potential to transmit arboviruses. Likewise, the mechanisms leading to the successfull establishment of an autochtone transmission cycle in Germany are rather complex and we are lacking most of the facts required to understand or predict such a scenario. This chapter emphasizes the possible influence of climate change, in particular rise in temperature and changing patterns in precipitation, on the ability of mosquito species to transmit arboviruses to animals and man. Interdisciplinary research concepts are urgently needed to fill the gaps in our understanding of the interactions of environment, vectors and viruses in Germany and Europe.*

Stechmücken sind in besonderem Maße von klimatischen Faktoren abhängig, da es sich zum einen um kaltblütige Tiere handelt und weil sich die meisten Phasen ihres Lebenszyklus im Wasser abspielen. Bei der Beurteilung der Bedeutung von Temperatureinflüssen auf die Funktion von Mücken als Überträger von Krankheiten ist nicht nur die Temperaturabhängigkeit der Entwicklung der Stechmücken über die Larven- und das Puppenstadium von Bedeutung, sondern auch der Umstand, dass die Temperatur auch die als extrinsische Inkubationsperiode bekannte Dauer beeinflusst. Diese beschreibt die Zeit, die ein Erreger benötigt, um sich in der Stechmücke zu vermehren, um beim nächsten Saugakt auf einen neuen Wirt übertragen zu werden. Somit erscheint es vor dem Hintergrund der »globalen Erwärmung« nur konsequent eine Zunahme von Stechmücken-übertragenen Erkrankungen bei Mensch und Tier zu erwarten. Dies könnte auf zweierlei Wegen tatsächlich eintreten: Erstens durch die Einwanderung und Etablierung bekannter und für viele Arboviren kompetenter Stechmückenarten aus wärmeren Regionen und zweitens durch die klimatischen Veränderungen mit denen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass sich Naturherde von verschiedenen Arboviren mit bereits in Deutschland vorkommenden Stechmückenarten etablieren. Für den ersten Weg ist v.a. *Aedes albopictus* zu nennen, auf das in einem separaten Kapitel eingegangen wurde. Im Hinblick auf den zweiten Weg soll in diesem Kapitel die unterschiedliche Ökologie der bereits heute in Deutschland vorkommenden Stechmückenarten dargestellt werden.

Wegen der Vielfalt der möglichen Einflüsse einer Klimaveränderung ist es nicht möglich, eindeutige Vorhersagen in Bezug auf ihre Bedeutung für die Ausbreitung von Infektionskrankheiten zu treffen. Gleichwohl wird der Versuch unternommen, am Beispiel des in Deutschland vorkommenden Tahyna-Virus die möglichen Auswirkungen zu beschreiben und an Beispielen der kürzlich erstmals in Deutschland nachgewiesenen Viren die Chancen weiterer Stechmücken-übertragener Viren aufzuzeigen, sich in Zukunft auch in derzeit noch kühleren Regionen Europas zu etablieren.

Biologie und Ökologie einheimischer Stechmücken

Da die Entwicklung unserer heimischen Stechmücken über insgesamt vier Larvenstadien und ein Puppenstadium an Wasser gebunden ist, stellt dessen Vorhandensein eine unabdingbare Voraussetzung für die Existenz von Stechmücken dar. Stechmücken haben sich im Laufe der Evolution mit verblüffender Flexibilität an die unterschiedlichsten Habitate und Klimazonen adaptiert. Sie haben es geschafft im Salzwasser und in Marschgebieten, in (eis-)kaltem Wasser direkt nach der Schneeschmelze oder in winzigen Mengen von nur kurzzeitig vorhandenem Wasser ihre Entwicklung zum adulten Tier zu vollenden. Das Verständnis der unterschiedlichen Ökologie der einzelnen Stechmückenarten, die auch den Menschen als Blutquelle nutzen, ist unabdingbare Voraussetzung, um hier eine vorsichtige Einschätzung vornehmen zu können. Daher sollen im Folgenden die wichtigsten Stationen im Leben einer Stechmücke in Bezug auf klimatische Einflüsse und Vektorfunktionen dargestellt werden.

Beginnend bei der Eiablage können zwei grundsätzlich verschiedene Typen unterschieden werden: Während Weibchen einiger Stechmücken-Gattungen (*Anopheles, Culex, Culiseta, Uranotaenia, Coquillettidia*) ihre Eier entweder einzeln oder in so genannten Flößen direkt auf der Wasseroberfläche ablegen, werden die Eier der einheimischen *Aedes*- und *Ochlerotatus*-Arten auf lehmhaltigem Boden in Ufernähe von Gewässern abgelegt. Bei starken Regenfällen, lokaler Schneeschmelze oder größeren Überflutungen, entstehen temporär geflutete Wasserflächen, die eine vollständige Entwicklung ermöglichen (*Abb. 3.2.6-1* und *-2*). Naturgemäß schlüpfen die Larven der ersten Gruppe mehr oder weniger unmittelbar (1 bis maximal 2 Tage) nach der Eiablage, während die Eier der zweiten Gruppe mehrere Jahre ohne unmittelbaren Wasserkontakt überdauern können. Bei der ersten Gruppe ist die Anzahl an Generationen pro Jahr abhängig von der Entwicklungsdauer pro Generation und diese wird neben einer Vielzahl von biotischen (Nahrungsreichtum im Wasser, Anzahl der Fraßfeinde etc.) und abiotischen

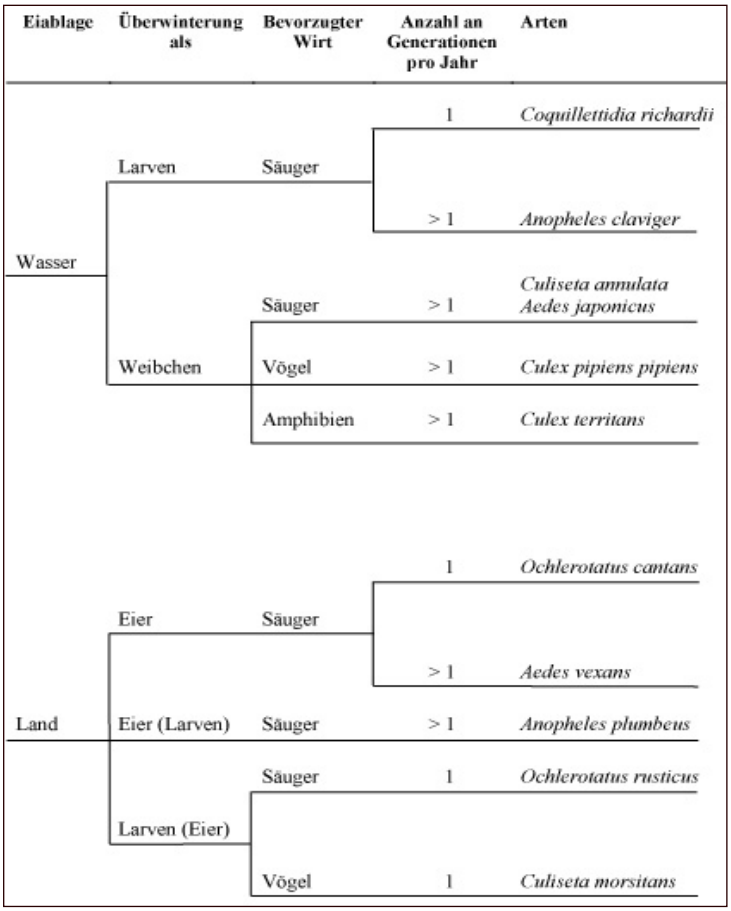

Abb. 3.2.6-1: *Darstellung bedeutender einheimischer Stechmückenarten nach wichtigen biologischen und ökologischen Kriterien. Losgelöst von der taxonomischen Zuordnung der einzelnen Arten, lassen sich so die Einflüsse klimatischer Veränderungen leichter erfassen. Es wurden nur repräsentative Arten der derzeit 47 für Deutschland beschriebenen Arten in der jeweiligen Funktionsgruppen gelistet (modifiziert nach* SCHÄFER *et al., 2004).*

Faktoren vor allem durch die Temperatur beeinflusst. Eine Klimaerwärmung würde somit eine stärkere Abundanz zur Folge haben. Höhere Temperaturen können jedoch auch zur schnelleren Austrocknung von kleineren Gewässern (Pfützen, Baumhöhlen, künstliche Wasseransammlungen in Eimern etc.) führen, die Überschwemmungs-Stechmücken oder sogenannten »container breeder« zur Eiablage dienen. Die Wassertemperatur ist neben der sinkenden Sauerstoffsättigung des Wassers der Schlüsselreiz zum Schlüpfen der Larven, deren Entwicklung in kaltem Wasser ebenfalls deutlich langsamer verlaufen würde. Dabei gibt es auch innerhalb verwandter Arten und auch innerhalb einer Art Standort-bedingte Unterschiede im Schlupfverhalten der Überschwemmungs-Stechmücken, die beeindruckend die Flexibilität und Anpassungsfähigkeit der Stechmücken zeigt. Während das Schlüpfen der Larven von einem Schwellenwert abhängig ist, verläuft ihre weitere Entwickelung umgekehrt proportional zur jeweiligen Wassertemperatur. Bei *Culex pipiens pipiens* beträgt die Dauer der Entwicklung in der aquatischen Phase 7–8 Tage bei einer Wassertemperatur von 25 °C. Zehn Grad kälteres Wasser verdreifacht diese Entwicklungsdauer. Ähnliche Daten sind von *Aedes vexans, Ochlerotatus cantans* und anderen Stechmückenarten bekannt. Am Oberrhein hat dies im Verlauf der letzten 50 Jahre zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit von *Aedes vexans* um etwa 23 Tage bei einer Steigerung der mittleren Maitemperaturen von 11,9 °C (1957) auf 16,5 °C (2002) geführt. Dies entspricht etwa einer Halbierung der Entwicklungsdauer in diesem Monat. Anders ausgedrückt kann dies zum Schlupf von Adulten zwei Monate früher im Jahr führen.

In ihrem Flug- und Wirtfindungsverhalten unterscheiden sich die Stechmückenarten ebenfalls erheblich. Eher ortständige Arten wie z.B. *Culex pipiens pipiens* würden durch starke Winde eher verteilt und möglicherweise von ihren Brutstätten vertrieben, als Arten, die es als starke Flieger gewohnt sind in einer Nacht mehrere Kilometer zurück zu legen. Das Ausmaß der Aktivität der Stechmücken ist neben Wind, Licht und dem physiologischen Zustand (vollgesogen, hungrig, gravide oder während der Paarung) vor allem von der Temperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängig. Um einer zu starken Austrocknung zu begegnen, sind die meisten Arten dämmerungs- oder nachtaktiv. Warme Nächte bieten den Stechmücken optimale Voraussetzungen ihren Bedürfnissen nach zu gehen.

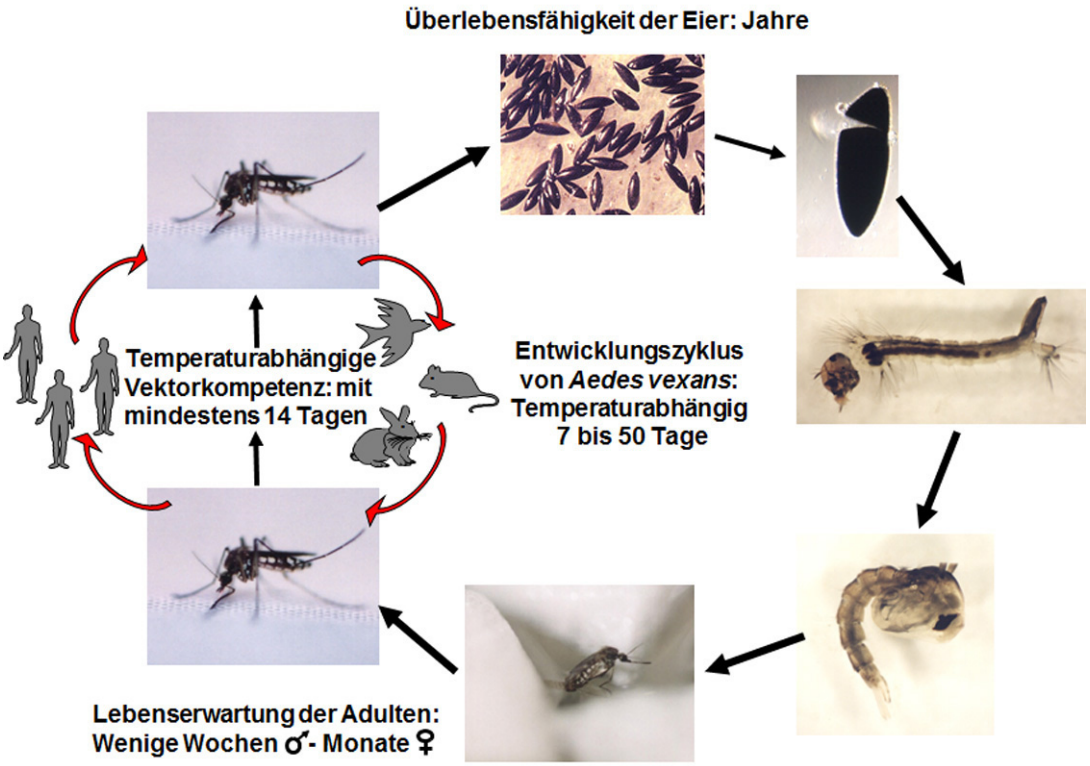

Abb. 3.2.6-2: *Darstellung der Entwicklungsstadien Deutschlands häufigster Überschwemmungs-Stechmücke, Aedes vexans, und des durch sie übertragenen Tahyna-Virus. Die Temperaturabhängigkeit beider Zyklen ist hervorgehoben.*

Ein wichtiges klimatisches Merkmal unserer Breitengrade ist der Winter. Die einheimischen Stechmückenarten haben unterschiedliche Strategien entwickelt, die kalte Jahreszeit mit möglichst geringen Verlusten zu überdauern. Die meisten Arten überwintern nur in einem Entwicklungsstadium, aber einige Arten (z.B. *Ochlerotatus rusticus, Culiseta morsitans*) können dies in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchtigkeit als Ei oder Larve tun. In Bezug auf ihre Vektorfunktion sind vor allem die Arten von Bedeutung, bei denen die Weibchen in feuchten Kellern Winterschlaf halten und die im Frühjahr mit der ersten Blutmahlzeit, die sie zur Eiablage benötigen, Viren schon früh im Jahr auf einen Wirt übertragen können. Bei diesen Arten (z.B. *Culex pipiens pipiens*) sind die Voraussetzungen günstig über den Sommer eine ausreichende Amplifikation des Virus zu erreichen und damit die Etablierung eines Naturherdes zu ermöglichen.

Auswirkungen des Klimawandels auf Stechmücken-übertragene Arboviren in Mitteleuropa

Eine Vorhersage über die Auswirkungen einer Veränderung des Klimas ist schwierig und beruht noch ausschließlich auf Spekulationen. Das Auftreten von Infektionskrankheiten und insbesondere durch Vektoren übertragenen Infektionskrankheiten wird jedoch mehr durch die aktuellen Wetterereignisse bestimmt, während das Klima nur die Grundvoraussetzungen für die Zirkulation von Erregern in einem Naturherd schaffen kann. Durch entsprechende ökologische Veränderungen und insbesondere durch klimatisch bedingte Veränderungen menschlichen Verhaltens (Freizeit-Aktivitäten, Veränderungen in Land- und Forstwirtschaft) können Bedingungen geschaffen werden, die im Einzelfall zum Auftreten von menschlichen oder tierischen Erkrankungen führen können, soweit Zyklen autochthon vorhandener Viren aktiviert oder importierte neue Viren zu einer kurzfristigen oder lang anhaltenden Zirkulation gelangen.

Der Naturzyklus von Stechmücken-übertragenen Erregern wird neben klimatischen Faktoren von vielen weiteren Faktoren beeinflusst. Auf das in Deutschland vorkommende Tahyna-Virus wird später noch detaillierter eingegangen. Die Überschwemmung von Feuchtgebieten in Flussauen spielt beispielsweise für die Entwicklung des hauptsächlichen Überträgers, *Aedes vexans*, eine entscheidende Rolle. Die zunehmenden extremen Niederschläge, auch in gemäßigten Breiten mit sog. »Jahrhundertfluten«, könnten wieder zu einer Aktivierung von aktuell auf niedrigem Niveau unentdeckt zirkulierenden Viren führen. Der Nachweis von Tahyna-Virus in Stechmücken in der Rheinebene (s.u.) zeigt, dass möglicherweise entsprechende Viruszyklen dort unbemerkt noch existieren und auf niedrigem Niveau zirkulieren. Ambiente Temperaturen in Verbindung mit Überschwemmungen könnten hier zu extremen Mückenpopulationen führen. Mildere Winter führen ebenfalls zu höheren Populationen von Kleinsäugern, die für Arboviren als natürliche Wirte eine wichtige Rolle spielen. Damit kann die Kombination aus milderen Wintern und extremen Wetterereignissen im Sommer zu einer Aktivierung von autochthonen Arboviruszyklen führen. Das kann unter Umständen Erkrankungen und sogar Epidemien zur Folge haben.

Die Einschleppung einer bisher auf Tropen und Subtropen beschränkten Stechmückenart, *Aedes albopictus*, in die Mittelmeerregion und der erstmalige Nachweis des bisher ausschließlich auf die Tropen Afrikas und Asiens beschränkte Chikungunya-Fieber 1989 in Albanien und 2007 in Italien (Rezza et al. 2007) könnte als deutlicher Hinweis gedeutet werden, dass sich tropische Erkrankungen mittlerweile in bisher gemäßigteren Regionen ausbreiten. Allerdings wurde schon 1927/28 eine große Dengue-Fieber-Epidemie im gesamten Mittelmeerraum beschrieben, so dass auch vor rund 80 Jahren schon das Potenzial für die Ausbreitung tropischer Arbovirus-Infektionen in der Mittelmeerregion vorhanden war. Als Überträger des Dengue-Virus im Rahmen des Ausbruchs konnte *Aedes aegypti* identifiziert werden, die jedoch nachfolgend in der Region ausgerottet werden konnte.

Im Herbst 2007 konnte *Aedes albopictus* in den Niederlanden nachgewiesen werden (Scholte et al. 2007). Hiermit besteht zumindest die Möglichkeit einer Einschleppung tropischer Virusinfektionen, wie z.B. des Dengue-Fiebers oder des Chikungunya-Fiebers nach Mitteleuropa. Für die beiden genannten Infektionen und ihren urbanen Übertragungszyklus scheinen jedoch die sanitären Verhältnisse in den Städten und Behausungen der Menschen wichtiger zu sein, als klimatische Bedingungen. Am Beispiel des seit 2006 in den Niederlanden zirkulierenden und sich innerhalb von 3 Jahren über fast ganz Europa ausgebreitenden Bluetongue-Virus Serotyp 8 zeigte sich, dass sich unter entsprechend günstigen Bedingungen Arboviren auch in Mitteleuropa etablieren und ausbreiten können. Ein noch eindrucksvolleres Beispiel ist das Schmallenberg Virus, welches 2010 erstmals im holländisch-deutschen Grenzgebiet bei großen und kleinen Wiederkäuern auftauchte und es schaffte sich innerhalb nur eines Jahres in fast ganz Europa auszubreiten (s. Kap. 3.2.18 - Mehlhorn und Kap. 3.2.16 - Kampen & Werner in diesem Band). Beide Viren werden allerdings von Gnitzen (*Cullicoides*

spp.) und nicht von Stechmücken übertragen. Die unterschiedliche Schnelligkeit in der Verbreitung wird in einer zusätzlichen Übertragung durch infiziertes Bullensperma gesehen, welches auch die Infektion über größere geographische Distanzen verbreiten kann, als die infizierten Vektor-Insekten selbst.

Ein entscheidendes Kriterium, ob sich ein Arbovirus in Deutschland etablieren kann, ist neben der generellen Vektorkompetenz einer Stechmücke, die so genannte extrinsische Inkubationsperiode. Dabei handelt es sich um die Zeitspanne, die ein Virus in der Stechmücke benötigt, um nach Aufnahme einer infektiösen Blutmahlzeit das Virus an einen anderen Wirt bei einer Blutmahlzeit mit dem Speichel wieder abzugeben. Das Arbovirus muss dabei vier Barrieren überwinden: Vom Mitteldarm in dessen Wandzellen, von da in die Hämolymphe, weiter in die Speichelzelle und schließlich von der Speichelzelle beim Saugakt in den Speichel und damit in den nächsten Wirt. Dieser Ablauf ist in hohem Masse temperaturabhängig. Für Dengue-Virus in seinem Hauptüberträger *Aedes aegypti* reduziert sich beispielsweise die Dauer von 22 Tagen bei 18 °C, auf 12 Tage bei 30 °C und schließlich auf eine Woche bei 35 °C. Beim Japanischen Enzephalitis-Virus reduziert sich die extrinsiche Inkubationsperiode in *Culex quinquefasciatus* von 3 Wochen bei 26 °C auf nur 5 Tage bei einer Steigerung um 6 °C auf 32 °C. Für West Nil-Virus reduziert sich diese Zeit in *Culex pipiens* von 32 Tagen bei 18 °C, über 25 Tage bei 26 °C auf immerhin noch 15 Tage bei 30 °C. Eine Verkürzung dieser Zeitspanne ist deshalb von so großer Bedeutung, da bei einer entsprechenden Erwärmung auch in bislang moderaten Klimazonen wie in Deutschland, die Voraussetzungen für eine hohe Virusamplifikation in Naturherden geschaffen wird. Diese erhöht nicht nur die Wahrscheinlichkeit, dass sich ein Naturherd über einen entsprechend warmen Sommer hin dauerhaft etabliert, sondern auch die Wahrscheinlichkeit humaner Infektionen, wenn Menschen in dem Naturherd exponiert sind. Eine Virusübertragung ist aber auch in den wärmeren Tropen in der Regel saisonal. Der Sachverhalt allein ist jedoch nicht ausreichend, um zu postulieren, dass eine wärmere Saison notwendigerweise auch eine höhere Virusübertragung bedeutet (Reiter 2001). Neben

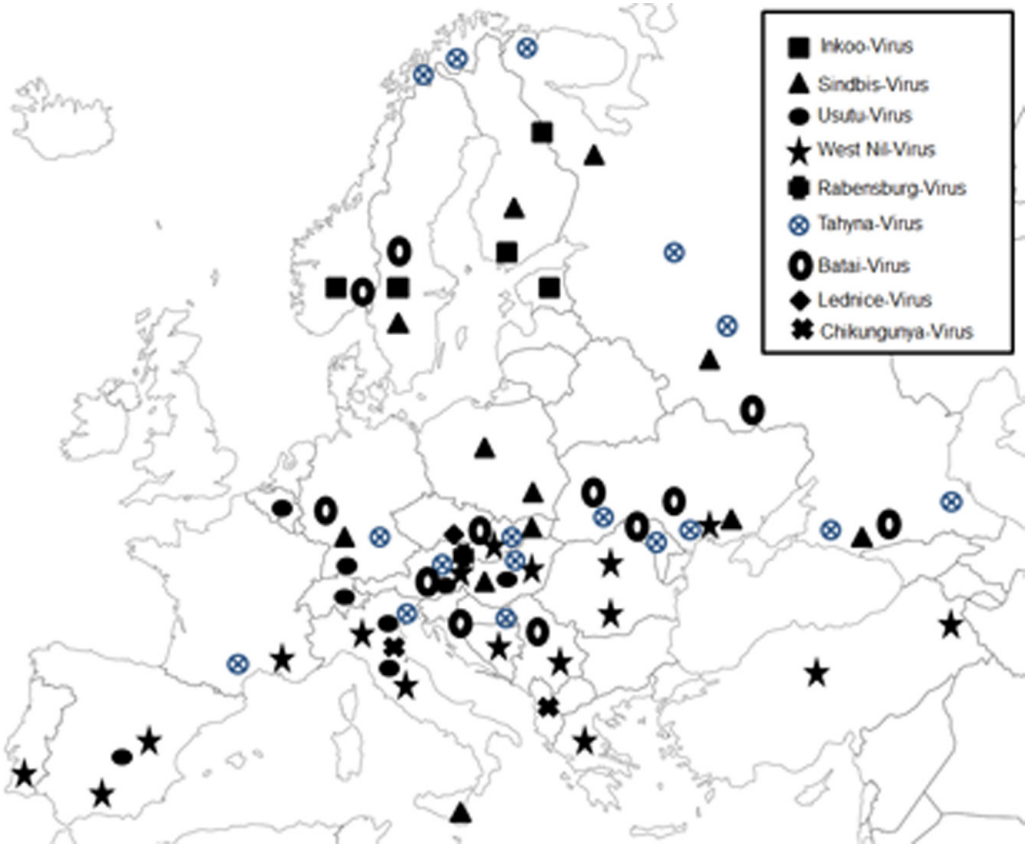

Abb. 3.2.6-3: *In West-, Mittel- und Nordeuropa vorkommende, durch Stechmücken übertragene Arboviren.*

der Vektorkompetenz ist die sogenannte Vektorkapazität einer Stechmücke entscheidend dafür, wie effektiv ein Arbovirus tatsächlich auf den Menschen übertragen werden kann. Hierbei werden zusätzlich Faktoren wie die Häufigkeit des Blutsaugens und die Dichte im Hinblick auf den Menschen sowie die tägliche Überlebensrate der Stechmücken berücksichtigt. Vereinfacht gesagt ist die Vektorkapazität ein Maß dafür, wie wahrscheinlich es ist, dass eine infizierte und kompetente Stechmücke tatsächlich zum Vektor wird.

Im westlichen Teil Zentraleuropas konnten bisher 9 verschiedene Viren aus Stechmücken isoliert werden (*Abb. 3.2.6-3*). Sie gehören unterschiedlichen Virusfamilien an:

Togaviridae, Genus Alphavirus:	*Sindbis-Virus, Chikungunya-Virus*
Flaviviridae:	*West Nil-Virus, Rabensburg-Virus, Usutu-Virus*
Bunyaviridae:	*Tahyna-Virus, Inkoo-Virus, Batai-Virus, Lednice-Virus*

Jedes dieser Viren weist einen eigenen natürlichen Übertragungszyklus auf und kann in unterschiedlichen Stechmückenarten nachgewiesen werden (Lundström 1999). Von diesen Viren ist eine Pathogenität für den Menschen für 6 der 9 Viren belegt:

Sindbis-Virus:	*Fieber, Exanthem, Arthritis*
Chikungunya-Virus:	*Fieber, Exanthem, Arthritis*
West Nil-Virus:	*Fieber, Exanthem, Meningoenzephalitis*
Usutu-Virus:	*Fieber*
Tahyna-Virus:	*Fieber, Meningitis, Influenza-ähnliche Symptomatik*
Batai-Virus:	*Fieber*

Tahyna-Virus

In Deutschland wurde bis zum Jahr 2009 nur ein Stechmücken-übertragenes Arbovirus, das Tahyna-Virus aus der Gruppe der California Enzephalitis Viren der Familie Bunyaviridae nachgewiesen (Spieckermann et al. 1972). Dies gelang Ende der 1960er Jahre durch Isolierung aus Stechmücken in Nordbayern. Pilaksi & Mackenstein (1985) wiesen Anfang der 1980er Jahre Tahyna-Virus aus Stechmücken im Oberrheintal nach. Dabei gelang es aus rund 6.000 gesammelten Stechmücken unterschiedlicher Arten 5 Stämme von Tahyna-Virus zu isolieren. Dies entspricht einer minimalen Infektionsrate der Stechmücken von 0,8/1.000. Seitdem gelangen in Deutschland keine weiteren Virusisolierungen. Schüssler (2000) wies Ende der 1990er Jahre aus mehr als 10.000 Stechmücken Tahyna-Virus-spezifische RNA mittels der Polymerase-Kettenreaktion nach. Das zeigt, dass das Tahyna-Virus zumindest in der Oberrheinebene über mindestens zwei Dekaden unabhängig von wechselnden Umweltbedingungen zirkulierte.

Die Ergebnisse des Nachweises von Tahyna-Virus im Oberrheingebiet lassen sich durch serologische Daten bestätigen. In einer Studie von mehr als 350 Patienten aus dem Gebiet von Mannheim konnte eine altersabhängige Seroprävalenz von IgG-Antikörpern gegen Tahyna Virus gezeigt werden. Die Mitte der 1990er Jahre gesammelten und untersuchten Seren zeigten einen Anstieg der Antikörper-Seroprävalenz von 0% (0/98 untersuchten Seren) in der Altersgruppe von < 31 Jahre auf 8,5% (12/145 untersuchten Seren) in der Altersgruppe > 50 Jahre (Dobler unveröffentl. Ergebnisse). Dies ist ein Hinweis, dass in früheren Jahren Tahyna-Virus eine starke Zirkulation in der Region gehabt hat mit einer hohen Rate von Infektionen bei den Bewohnern. Vermutlich führten die Veränderungen des Flusslaufs mit der Folge von geringerer Überschwemmungsaktivität und die einsetzenden Bekämpfungsmaßnahmen zu einer deutlichen Reduktion oder sogar zum teilweisen Aussterben der Viruszirkulation in den früheren endemischen Gebieten des Rheingrabens.

Als Überträger von Tahyna-Virus können mindestens 10 *Aedes*-Arten dienen. Vereinzelt konnte der Erreger auch bei *Culex-, Culiseta-, Coquillettidia- und Anopheles*-Arten nachgewiesen werden. Diesen Stechmücken-Gattungen wird jedoch keine epidemiologische Bedeutung beigemessen. Unter den *Aedes*-Arten scheint *Ae. vexans* die wichtigste Rolle, *Oc. caspius* und *Ae. cantans* unter bestimmten ökologischen Bedingungen ebenfalls eine Rolle zu spielen (Lundström 1994). Infizierte *Aedes*-Stechmücken-Weibchen können das Tahyna-Virus auch auf ihre Nachkommenschaft transovariell übertragen (Danielova & Ryba 1979).

Als natürliche Wirte des Tahyna-Virus konnten in Mittel- und Osteuropa Hasen und Kaninchen identifiziert werden. Nagetiere oder größere Wildsäugetiere scheinen keine epidemiologische Bedeutung im Viruszyklus zu haben (Bardos 1975). Die Hasenartigen entwickeln ausreichende Virustiter im Rahmen des virämischen Stadiums, so dass Blut-saugende Stechmücken ausreichende Mengen an Virus aufnehmen und so infiziert werden können. Wie bei den meisten anderen Arbovirus-Infektionen spielt der Mensch im natürlichen Übertragungszyklus keine Rolle. Er ist nur zufälliger Wirt des Virus und kann aufgrund der zu geringen Virustiter im Blut nicht als Infektionsquelle für Blut-saugende Stechmücken dienen.

Die beschriebenen Unterschiede der beiden wichtigsten Stechmücken-Überträger des Tahyna-Virus, *Ae. vexans* und *Oc. caspius* machen es wahrscheinlich, dass Tahyna-Virus in zwei unterschiedlichen Übertragungszyklen in der Natur zirkuliert. In einem sog. Überschwemmungszyklus spielt *Ae. vexans* die zentrale Rolle. Die Stechmückenart benötigt für die

Entwicklung der Eier Überschwemmungen im Rahmen der Frühjahrs-Hochwasser. Infizierte Weibchen können über die sog. transovarielle Übertragung ihre Eier infizieren, so dass die entstehenden Stechmücken das Virus auf Hasenartige übertragen und so den natürlichen Übertragungszyklus (analog dem für *Cx. pipiens pipiens* bereits oben Beschriebenen) in Gang setzen können. Abhängig von den hydrologischen und meteorologischen Bedingungen läuft dieser Zyklus in unterschiedlichem Ausmaß ab. So konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus starken, langen oder auch mehrfachen Überschwemmungsperioden in den Flußauen mit hohen Lufttemperaturen zu einer Intensivierung des Viruszyklus führt (Pilaski & Mackenstein 1985; Danielova et al. 1972; Kolman et al. 1964). Entsprechende Umweltbedingungen spielen für das Auftreten von menschlichen Erkrankungsfällen durch Tahyna-Virus-Infektionen eine Rolle. In der slowakischen Hauptstadt Bratislava führten bis in die jüngste Zeit Überschwemmungen der Donau zum Auftreten von Infektionen in der städtischen und ländlichen Bevölkerung durch Tahyna-Virus (Labuda, pers. Mittl. 2005).

Ein zweiter von diesem Überschwemmungszyklus unabhängiger Virus-Übertragungszyklus könnte in *Oc. caspius* ablaufen. Von Pilaski wird dieser Zyklus als Wiesenzyklus bezeichnet (Pilaski & Mackenstein 1985). Er spielt sich unabhängig von großen Überschwemmungen in Feuchtwiesen und Waldgebieten ab, dem Hauptlebensraum von *Oc. caspius* und anderen sog. Waldstechmücken. Die Viruszirkulation beginnt früh im Jahr und setzt sich über die gesamte Aktivität der Stechmücken auf niedrigem Niveau fort. Der Mensch ist auch hier nicht essentieller Bestandteil des natürlichen Übertragungszyklus und ist nur ausnahmsweise involviert.

Das Tahyna-Virus gehört zur California Enzephalitis Virus-Gruppe innerhalb der Gattung *Orthobunyavirus* (Familie Bunyaviridae). Einige Mitglieder dieser Gruppe, u.a. La Crosse-, California Encephalitis- oder Jamestown Canyon-Virus gelten als wichtige Verursacher von Infektionen des zentralen Nervensystems. Deshalb lag seit der Erstisolierung und Identifizierung in Europa der Verdacht nahe, dass Tahyna-Virus ebenfalls eine humanpathogene Bedeutung haben könnte. Serologische Untersuchungen insbesondere in Südmähren in der Slowakischen Republik konnten zeigen, dass dieses Virus Verursacher von unspezifischen Influenza-ähnlichen Allgemeininfektionen (Lvov et al. 1977), von Abdominalinfektionen mit Appendizitis-ähnlicher Symptomatik, von Bronchopneumonien und von aseptischen Meningitiden ist (Rosicky & Malkova 1980). ZNS-Symptome wurden dabei, ähnlich wie bei den genannten anderen Viren dieser Gruppe, vorwiegend bei Kindern beobachtet. Insgesamt konnten von 1960 bis 1975 rund 150 Erkrankungsfälle durch Tahyna-Virus in der Slowakischen Republik z.T. durch Virusnachweis diagnostiziert werden. Im Rahmen eines Ausbruchs im Jahr 1965 traten in Südfrankreich 13 Erkrankungsfälle auf (Hannoun et al. 1969).

Die eigentliche medizinische Bedeutung ist jedoch weitgehend ungeklärt. So fanden sich in der Bevölkerung in endemischen Regionen Antikörper-Durchseuchungsraten von bis zu 60%, die intensive Infektionsraten der Bewohner wahrscheinlich machen (Rosicky & Malkova 1980). Vermutlich ist der Manifestationsindex der Tahyna-Virus-Infektion beim Menschen niedrig.

Sindbis-Virus

Während in Nordeuropa unter vermutlich für Viren deutlichen ungünstigeren Bedingungen Sindbis-Virus (Synonym: Ockelbo-Virus; Genus Alphavirus) zirkuliert und auch zu Infektionen des Menschen führt, existierten bis 2009 keine Daten, die die Verbreitung und Zirkulation dieses Alphavirus in Deutschland vermuten ließen (Modlmaier et al. 2002). Nachdem dieses Alphavirus auch Vogel-assoziiert ist, sollte eine Einschleppung durch Zugvögel in der Vergangenheit vielfach möglich gewesen sein, ohne allerdings zur Etablierung eines bekannten Naturherdes geführt zu haben. Bei Untersuchungen an Stechmücken des Oberrheins bereits Ende der 1990er Jahre konnten keine Sindbis-Viren gefunden werden. In der Arbovirus Surveillance aber wurden 2009 am Oberrhein in 10 von 643 Stechmücken-Pools Sindbis-Viren identifiziert und aus *Culex*- und *Anopheles*-Arten isoliert (Jöst et al. 2010). In den beiden Folgejahren wurden in der Region über 300 humane klinische Verdachtsfälle untersucht, aber eine Sindbis-Virusinfektion konnte nie festgestellt werden. Bei der Untersuchung von über 3.000 gesunden Blutspendern aus der Region wurden nur in 4 Spendern spezifische Antikörper gegen Sindbis-Virus gefunden, so dass man derzeit von einer sehr geringen medizinischen Bedeutung von Sindbis-Virus in Südwestdeutschland ausgeht. Dass solche Geschehen aber nicht lokal begrenzt bleiben, zeigt der Fund von Sindbis-Virus in einer 2010 verletzt aufgefundenen Nebelkrähe in Berlin (Eiden et al. 2014). Sindbis Virus ist nach dem Ort Sindbis im Nildelta in Ägypten benannt, wo es 1952 aus *Culex univittatus* isoliert werden konnte. Sindbis-Virus hat eine für die meisten Arboviren ungewöhnlich weite globale Verbreitung und kommt auf allen Kontinenten außer der Neuen Welt vor. Zudem ist es in der Wahl seiner Stechmückenvektoren relativ promisk und wurde schon aus einer Vielzahl von Stechmückenarten

verschiedener Genera isoliert (Lundström & Pfeffer 2010). In Europa wurde es 1971 erstmals von einem gefangenen Teichrohrsänger in der Westslowakei isoliert. Es ist derzeit strittig, ob Sindbis-Virus-infizierte Vögel unter natürlichen Bedingungen eine Erkrankung mit einem bestimmten Krankheitsbild erleiden (s. Kap. 3.2.9 - Bairlein & Metzger). Der Mensch hingegen hat ein in vielen Ländern bekanntes Krankheitsbild, welches durch einen typischen Hautausschlag, Muskelschmerzen und Gelenkschmerzen charakterisiert ist. Vor allem letztere Beschwerden neigen zu Rezidiven und können langfristig zur Arbeitsunfähigkeit führen. In den Skandinavischen Ländern hat die Erkrankung sogar Eigennamen wie Pogosta (Finnland), Ockelbo (Schweden, auch Pilzsammlerkrankheit genannt), Karelisches Fieber (Karelien, Russland). Auch in Europa scheinen vornehmlich *Culex*-Stechmücken für die Aufrechterhaltung der Naturzyklen verantwortlich zu sein. Für die Infektion des Menschen sind wohl eher sogenannte Brückenvektoren (z.B. *Aedes cinereus*) verantwortlich, die das Virus bei einem Vogel in dessen virämischer Phase aufnehmen und beim nächsten Stich einen Menschen infizieren.

Batai Virus

In einer Region in Mähren, in der auch West Nil-Virus nachgewiesen werden konnte, wurden zwei weitere, durch Stechmücken übertragene Arboviren gefunden: Lednice-Virus und Batai-Virus (syn.: Calovo-Virus). Zur Ökologie dieser beiden Viren sind bisher wenige Informationen verfügbar. Während Batai-Virus als Verursacher von fieberhaften Infektionen beim Menschen gilt, konnte eine Humanpathogenität für Lednice-Virus bisher nicht dokumentiert werden. Für Batai-Virus sind einzelne Nachweise (virologisch oder serologisch) in Österreich und in Indien belegt. Das Virus aus der Bunyamwera Gruppe (Familie Bunyaviridae) scheint in Mähren augenblicklich sein nordwestlichstes Verbreitungsgebiet erreicht zu haben. Während Tahyna-Virus in Deutschland an Bedeutung verloren zu haben scheint, ist Batai-Virus, ebenfalls aus dem Genus Orthobunyavirus, bei der bereits erwähnten Arbovirus Surveillance in Erscheinung getreten. Erstmals 1955 in Malaysia aus *Culex gelidus* isoliert, ist es in Europa (Tschechien, Slowakei) vornehmlich aus Anopheliden (*Anopheles maculipennis* s.l., *An. claviger*) isoliert worden. Als natürliche Wirte gelten das Hausschwein, Wiederkäuer und seltener Vögel, wobei bei diesen Tieren zwar spezifische Antikörper gegen Batai-Virus nachgewiesen, jedoch kein Krankheitsbild assoziiert wurde. Beim Menschen wird wie bei Tahyna-Virus eine sogenannte Influenza-ähnliche Erkrankung beschrieben, die auch mit Fieber einhergehen kann. Im Jahr 2009 konnte es erstmals in Deutschland aus einem Pool mit *Anopheles maculipennis* s.l. Weibchen (von 643 Pools mit ca. 16.000 Stechmücken) nachgewiesen werden (Jöst et al. 2011a). In den beiden Folgejahren waren alle der getesteten Stechmücken-Pools negativ für Batai-Virus. 2012 jedoch waren wieder 3 der bereits erwähnten 1437 Pools positiv für Batai-Virus, so dass auch hier die Vermutung nahe liegt, dass dieses Virus dauerhaft in Deutschland vorkommt (Becker et al. 2014). Es ist jedoch auch nicht auszuschließen, dass es zu einer erneuten Einschleppung im letzten Jahr kam.

Usutu Virus

Ein weiteres, bisher als ausschließlich in den Tropen vorkommendes Arbovirus, hat eine zumindest kurzfristige Zirkulation in Mitteleuropa geschafft (Meister et al. 2008). Usutu-Virus, aus der Japan Enzephalitis Serogruppe der Familie Flaviviridae hat sich seit dem Jahr 2000 in Österreich, Teilen Ungarns und der Schweiz etabliert und hier zu einem Vogelsterben bislang unbekannten Ausmaßes geführt (Weissenböck et al. 2002). Usutu-Virus wurde erstmal 1959 in Südafrika aus Stechmücken der Art *Culex perfuscus* isoliert und ist seit dieser Zeit immer mal wieder im Rahmen von Untersuchungen im südlichen und westlichen Afrika aus Stechmücken isoliert worden, eine augenscheinliche Verbindung zu Erkrankungen bei Tier und Mensch gab es nicht. Im Jahre 2001 wurde das Virus erstmals in Europa gefunden, als im Wiener Zoo verschiedene Vogelarten erkrankten und verstarben. In den Folgejahren kam es zu einer graduellen Ausbreitung im Großraum Wien und in verschiedenen Bundesländern Österreichs, die als Amselsterben bekannt wurde (Brugger & Rubel 2008). 2005 wurde es bei einer Amsel in Budapest, Ungarn, im Sommer 2006 dann in der Schweiz, Italien, Spanien und 2011 in Tschechien gefunden. Diese Ausbreitungstendenz war u.a. Anlass eine Arbovirus Surveillance in Deutschland im Jahr 2009 zu initiieren, die auch zur erstmaligen Isolierung von Batai- und Sindbis-Viren in Deutschland führten (s.o.). Von den 2010 gefangenen und in 2.385 sogenannten »Pools« untersuchten 54.321 weiblichen Stechmücken wurde dann auch 1 positiver Pool aus Weinheim identifiziert, aus dem Usutu-Virus isoliert werden konnte (Jöst et al. 2011b). Ab Ende Juni des Folgejahres kam es auch in der entsprechenden Gegend am Oberrhein zu einem vermehrten Amselsterben. Insgesamt wurde bei 89 untersuchten Wildvögeln Usutu-Virus nachgewiesen. Von den ebenfalls fast 54.000 Stechmücken aus diesem Jahr wurde das Virus in 166 von 2.463 Pools nachgewiesen. 2011 war also eine deutliche Virusaktivität in Südwestdeutschland zu verzeichnen. Auch im Jahr 2012 wurde Usutu-Virus in 11 von 1437 Pools

(ca. 26.000 Stechmücken) nachgewiesen, die Wildvogelpopulation scheint aber nicht in gleichem Maße betroffen gewesen zu sein wie im Vorjahr: 2 von 126 getesteten Vögeln aus Rheinland-Pfalz (Becker et al. 2012). Ein ähnliches Phänomen wurde in Österreich in den Jahren 2003 und 2004 beschrieben und auf eine sich ausgebildete Herdenimmunität in der Wildvogelpopulation zurückgeführt. Allerdings ist das Verbreitungsgebiet nicht mehr auf den Oberrhein beschränkt, sondern umfasst derzeit das Gebiet zwischen Karlsruhe und Frankfurt a.M. sowie die Gegend zwischen Köln und Siegen. Usutu-Virus hat sich also in Deutschland etabliert und sollte bei vermehrten Todesfällen in der Wildvogelpopulation als mögliche Ursache untersucht werden, oder auch im Einzelfall bei Befunden von Hepatitis und/oder Encephalitis als ätiologische Ursache abgeklärt werden. Auch im Jahr 2013 wurde Usutu Virus wieder in Deutschland in verschiedenen Stechmückenarten nachgewiesen (Becker et al. 2014). Bei vielen Vertretern der Japanischen Encephalitis-Serogruppe handelt es sich um Zoonoseerreger. Für Usutu-Virus sind glücklicherweise bislang nur 2 Berichte von immunsupprimierten Patienten aus Italien bekannt, bei denen Usutu-Virus nachgewiesen werden konnte. Für die »gesunde« Bevölkerung scheint von diesem Virus keine Gefahr auszugehen. Allerdings wurde eine Blutkonserve eines gesunden Blutspenders vom Januar 2012 positiv auf Usutu-Virus-spezifische IgM und IgG-Antikörper getestet. Dies zeigt, dass Infektionen des Menschen stattfinden, aber ohne klinische Ausprägung bleiben.

Andere potenziell in Deutschland vorkommende Stechmücken-übertragene Arboviren

Am häufigsten wird augenblicklich die Möglichkeit diskutiert, dass West Nil-Virus nach Deutschland einwandern und sich hier, ähnlich wie auf dem nordamerikanischen Kontinent ausbreiten könnte. Hierzu wurden in den letzten Jahren mehrere Studien in Vögeln und Menschen in verschiedenen Teilen Deutschlands durchgeführt (Linke et al. 2007).

West Nil-Virus kommt seit Jahrzehnten in Südosteuropa und im Mittelmeergebiet vor (*Abb. 3.2.6-4*). Die Auswertung der verfügbaren Daten zu Virusisolierungen und zum Auftreten von menschlichen Erkrankungen geben keine Hinweise für eine Ausbreitung in Richtung Norden nach Zentraleuropa (Hubalek und Halouzka 1999). Über die genaueren Faktoren zur Verbreitung des West Nil-Virus gibt es bisher keine Kenntnisse. Allerdings scheinen die augenblicklichen ökologischen Verhältnisse in Deutschland für eine dauerhafte Zirkulation des West Nil-Virus ungeeignet, da aus Un-

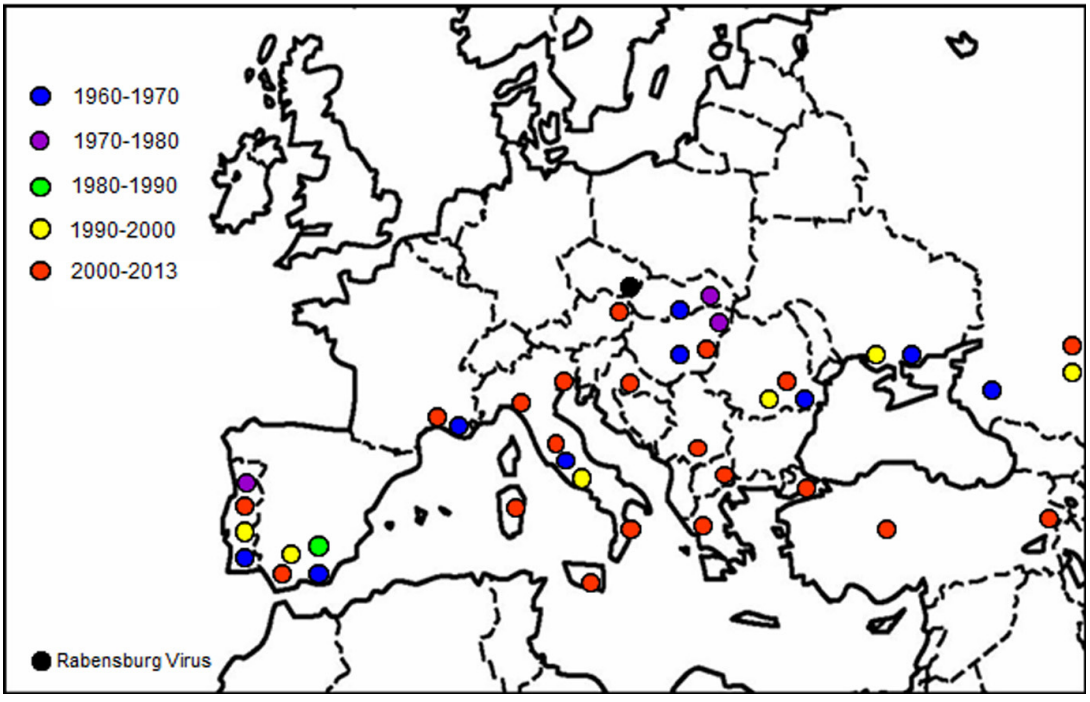

Abb. 3.2.6-4: *Verbreitung und zeitliches Auftreten von West Nil-Virus-Isolierungen (die genetischen Linien 1 und 2 wurden hier nicht unterschieden) in Europa (Status des Rabensburg-Virus bisher ungeklärt). Seit den ersten Berichten von West Nil-Virus in Europa ist keine Tendenz zur Ausbreitung in nördliche Gebiete zu erkennen.*

tersuchungen an Vögeln anzunehmen ist, dass das Virus über Zugvögel wohl immer wieder nach Deutschland eingeschleppt werden könnte. Ein klimaassoziierter Risikofaktor für einen West Nil-Virus-Ausbruch wurde anhand von Daten aus den USA ermittelt. Basierend auf der Hypothese, dass stärkere Regenfälle generell zu einer Erweiterung der Entwicklungsmöglichkeiten von Stechmücken führen, da mehr Habitate geschaffen werden, konnte gezeigt werden, dass die Inzidenz von West Nil-Virus-Infektionen beim Menschen stark mit der Niederschlagsmenge des Vorjahres korrelierte (Landesman et al. 2007). Dies ist auch für Deutschland von Interesse, da die gängigen Modelle des Klimawandels für Deutschland, speziell die regionalen Regenmodelle für Südeuropa und die Alpenregion, eine Reduktion der Niederschlagsmengen im Juni-August und erhöhte Niederschläge in Frühjahr und Winter vorhersagen. In Nordeuropa wird es mehr regnen und südlich der Alpen wird proportional weniger Regen fallen, so dass sich die mittlere Niederschlagsmenge in Europa nicht ändern wird. Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, dass im benachbarten Ausland in den letzten Jahren vermehrt West Nil-Virus v.a. bei Vögeln und in Stechmücken gefunden wurde. Dabei wurde auch die sogenannte genetische Linie 2 gefunden, was ein eindeutiger Hinweis für neue Einschleppungen von Arboviren in Österreich und Ungarn ist. Auch für das bereits beschriebene Tahyna-Virus und die es übertragende Überschwemmungs-Stechmücken wäre diese Entwicklung günstig.

Im Sommer 2007 konnte ein Ausbruch des ebenfalls tropischen Chikungunya-Virus in der Nähe von Ravenna in Mittelitalien beobachtet werden (Rezza et al. 2007). Dabei wurden mehr als 200 Erkrankungsfälle bei Menschen diagnostiziert. In den Folgejahren trat das Virus nicht wieder auf, was auf Basis fehlender klinischer Fälle und eines intensiven Monitorings der Stechmückenpopulation mit großer Sicherheit gesagt werden kann. Der Hauptgrund für die bisherige Nicht-Etablierung scheint in der Tatsache zu liegen, dass *Aedes albopictus* im Mittelmeergebiet nicht im adulten Stadium überwintert, sondern im Ei-Stadium. Chikungunya-Virus scheint in *Aedes albopictus* nicht transovariell übertragen zu werden, so dass die infizierte Mückenpopulation mit dem eintretenden Winter ausstarb. Also ein reiner biologischer Zufall, dass sich Chikungunya-Fieber nicht in Italien etablieren konnte. Dengue-Viren können hingegen transovariell in *Aedes albopictus* übertragen werden (Lam, pers. Mittl.). Damit würde die Einschleppung und Etablierung eines urbanen Dengue-Zyklus vermutlich nicht so glimpflich und zeitlich begrenzt ablaufen. Dies ist von umso größerer humanmedizinischer Bedeutung, da es sich um ein Virus handelt, das im Rahmen eines urbanen Übertragungszyklus über Stechmücken von Mensch zu Mensch übertragen wird und keine Wild- oder Haustiere als Amplifikationswirte oder natürliche Wirte benötigt. *Aedes albopictus* konnte mittlerweile auch in den Niederlanden nachgewiesen werden (Scholte et al. 2007), so dass hier eine Einschleppung des Chikungunya-Virus z.B. über virämische Menschen und eine zumindest saisonale Zirkulation möglich erscheint. Je näher die Vektoren oder die Viren an Deutschland heranrücken, desto größer wird die Wahrscheinlichkeit, dass es zur Einschleppung und möglicherweise Etablierung eines Naturherdes kommt.

Schlußbetrachtung

Die Mechanismen Stechmücken-übertragener Viren sind äußerst komplex und für die in Europa vorkommenden Arboviren zum Großteil unbekannt. Bei dem Zusammenspiel von Stechmücken, sich veränderndem Klima mit seinen prognostizierten Veränderungen und vielen weiteren Faktoren verbietet sich eine vereinfachende Analyse. Das neue Auftreten bzw. Wiederauftreten etlicher Vektor-übertragener Erkrankungen in jüngerer Zeit, wird dabei allzu leicht als Folge des Klimawandels abgehandelt. Die Hauptursachen hierfür liegen derzeit aber eher in den politischen und ökonomischen Veränderungen sowie den Aktivitäten der Menschen. Hier gilt es durch interdiziplinäre Forschungskonzeption die immensen Wissenslücken in Europa und Deutschland zu schließen. Nur in der Kenntnis und dem Verständnis des Vorhandenen lässt sich eine seriöse Bewertung des Klimaeinflusses auf die einheimische Stechmückenfauna und ihrer medizinischen Bedeutung durchführen. In den letzten Jahren wurde der Forschungsbedarf auf diesem Gebiet auch in Deutschland erkannt und in einigen wenigen Netzwerken sowohl die generelle Verbreitung von Stechmückenarten, als auch möglicher Pathogene in den Stechmücken untersucht. Diesen Arbeiten verdanken wir die Kenntnis zum neuerlichen Vorkommen von Sindbis-, Batai- und Usutu-Viren, aber auch von Mikrofilarien (*Dirofilaria repens*, Czajka et al. 2014) in Deutschland.

Literatur

BARDOS V. (1975): The role of mammals in the circulation of Tahyna virus. Folia Parasitol. (Praha). 22, 257-261.

BECKER N., JÖST H., ZIEGLER U,, EIDEN M., HÖPER D., EMMERICH P., FICHET-CALVET E., EHICHIOYA D. U., CZAJKA C., GABRIEL M., HOFFMANN B., BEEER M., TENNER-RACZ K., RACZ P., GÜNTHER S., WINK M., BOSCH S., KONRAD A., PFEFFER M., GROSCHUP M. H. & J. SCHMIDT-CHANASIT (2012): Epizootic emergence of Usutu virus in wild and captive birds in Germany. PLoS One 7(2), e32604.

BECKER N., KRÜGER A., KUHN C., PLENGE-BÖNIG A.,

THOMAS S. M., SCHMIDT-CHANASIT J. & E. TANNICH (2014): Stechmücken als Überträger exotischer Krankheitserreger in Deutschland. Bundesgesundheitsbl. 57, 531-540.

BRUGGER K. & F. RUBEL (2008): Simulation of climate-change scenarios to explain Usutu-virus dynamics in Austria. Prev. Vet. Med. 88(1), 24-31.

CZAJKA C., BECKER N., JÖST H., POPPERT S., SCHMIDT-CHANASIT J., KRÜGER A. & E. TANNICH (2014): Stable transmission of Dirofilaria repens nematodes, northern Germany. Emerg. Infect. Dis. 20(2), 329-331.

DANIELOVA V., HAJKOVA Z., MINAR J. & J. RYBA (1972): Virological investigations of mosquitoes in different seasons of the year at a natural focus of Tahyna virus in Southern Moravia. Folia Parasitol. 19, 25-31.

DANIELOVA V. & J. RYBA (1979): Laboratory demonstration of transovarial transmission of Tahyna virus in *Aedes vexans* and the role of this mechanism in overwintering of the arbovirus. Folia Parasitol. 26, 361-366.

EIDEN M., ZIEGLER U., KELLER M., MÜLLER K., GRANZOW H., JÖST H., SCHMIDT-CHANASIT J. & M. H. GROSCHUP (2014): Isolation of Sindbis virus from a hooded crow in Germany. Vector Borne Zoonotic Dis. 14(3), 220-222.

HANNOUN C., PANTHIER R. & B. CORNIOU (1969): Serological and virological evidence of the endemic activity of Tahyna virus in France. In: Arboviruses of the California complex and the Bunyamwera group, Proc. Symp. Smolenice, 18-21 October 1966. Publication House of the Slovac Academy of Sciences, Bratislava, 121-125.

HUBALEK Z. & J. HALOUZKA (1999): West Nile fever--a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. Emerg Infect Dis. 5, 643-50.

JÖST H., BIALONSKI A., STORCH V., GÜNTHER S., BECKER N. & J. SCHMIDT-CHANASIT (2010): Isolation and phylogenetic analysis of Sindbis viruses from mosquitoes in Germany. J. Clin. Microbiol. 48(5), 1900-1903.

JÖST H., BIALONSKI A., SCHMETZ C., GÜNTHER S., BECKER N. & J. SCHMIDT-CHANASIT (2011a): Isolation and phylogenetic analysis of Batai virus, Germany. Am. J. Trop. Med. Hyg. 84(2), 241-243.

JÖST H., BIALONSKI A., MAUS D., SAMBRI V, EIDEN M., GROSCHUP M. H., GÜNTHER S., BECKER N. & J. SCHMIDT-CHANASIT (2011b): Isolation of Usutu virus in Germany. Am. J. Trop. Med. Hyg. 85(3), 551-553.

KOLMAN J. M , MALKOVA D., NEMEC N., SMETANA A., HAJKOVA Z. & J. MINAR (1964): The isolation of the Tahyna virus from the mosquito *Aedes vexans* in Southern Moravia. J. Hyg. Epidem. (Praha) 8, 380-386.

LANDESMAN W. J., ALLAN B. F., LANGERHANS R. B., KNIGHT T. M. & J. M. CHASE (2007): Inter-annual associations between precipitation and human incidence of West Nile virus in the United States. Vector-Borne Zoon. Dis. 7(3), 337-343.

LINKE S., NIEDRIG M., KAISER A., ELLERBROK H., MULLER K., MULLER T., CONRATHS F. J., MUHLE R. U., SCHMIDT D., KOPPEN U., BAIRLEIN F., BERTHOLD P. & G. PAULI (2007): Serologic evidence of West Nile virus infections in wild birds captured in Germany. Am. J. Trop. Med. Hyg. 77, 358-364.

LUNDSTÖM J. O. (1994): Vector competence of Western European mosquitoes for arboviruses: a review of field and experimental studies. Bull. Soc. Vect. Ecol. 19(1), 23-26.

LUNDSTÖM J. O. (1999): Mosquito-borne viruses in Western Europe: A review. J. Vector Ecol. 24 (1), 1-39.

LUNDSTRÖM J. O. & M. PFEFFER (2010): Phylogeographic structure and evolutionary history of Sindbis virus. Vector Borne Zoonotic Dis. 10, 889-907.

LVOV D. K., KOSTYUKOV M. A., PAK T. T., GORDEEVA Z. E., PUNJETBEKOV A. A. & G. GULYAMOV YU (1977): Isolation of Tahyna virus (California encephalitis group, Bunyaviridae family) from the blood of febrile patients in the Tajik SSR. Vopr. Virusol. 6, 682-685.

MEISTER T., LUSSY H., BAKONYI T., SIKUTOVA S., RUDOLF I., VOGL W., WINKLER H., FREY H., HUBALEK Z., NOWOTNY N. & H. WEISSENBÖCK (2008): Serological evidence of continuing high Usutu virus (Flaviviridae) activity and establishment of herd immunity in wild birds in Austria. Vet Microbiol. 127(3), 237-248.

MODLMAIER M., KUHN R., KAADEN O.-R. 6 M. PFEFFER (2002): Transmission studies of an European Sindbis virus in the floodwater mosquito *Aedes vexxans* (Diptera: Culicidae). Int. J. Med. Microbiol. 291, Suppl. 33, 164-170.

PILASKI J. & H. MACKENSTEIN (1985): Nachweis des Tahyna Virus in zwei verschiedenen europäischen Naturherden. Zbl. Bakt. Hyg. B, 180, 394-420.

REITER P. (2001): Climate change and mosquito-borne disease. Environm. Health Perspecives 109 (Supplement 1), 141-161.

REZZA G., NICOLETTI L., ANGELINI R., ROMI R., FINARELLI C., PANNING M., CORDIOLI P., FORTUNA C., BOROS S., MAGURANO F., SILVI G., ANGELINI P., DOTTORI M., CIUFOLINI M. G., MAJORI G. C. & A. CASSONE (2007): For the CHIKV study group. Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate regioin. Lancet 370, 1840-1846.

ROSICKY B. & D. MALKOVA (1980): Tahyna Virus natural focus in Southern Moravia. Acad. Nat.Cesk. Acad. Ved. 90(7), 1-107.

SCHÄFER M. L., LUNDSTRÖM J. O., PFEFFER M., LUNDKVIST E. & J. LANDIN (2004): Biological diversity versus risk for mosquito nuisance and disease transmission in contructed wetlands in southern Sweden. Med. Vet. Entomol. 18, 256-267.

SCHOLTE E. J., JACOBS F , LINTON Y. M., DIJKSTRA E., FRANSEN J. & W. TAKKEN (2007): Frist record of *Aedes* (*Stegomyia*) *albopictus* in the Netherlands. European Mosq. Bull. 22, 5-9.

SCHÜSSLER E. (2000): Tahyna Virus: Untersuchungen zum Vorkommen am Oberrhein und Sequenzvergleich des M-Segments bei 10 Virusisolaten. Inaugural-Dissertation. Heidelberg. 140 pp.

SPIECKERMANN D. & R. ACKERMANN (1972): Isolierung von Viren der California Enzephalitis Gruppe aus Stechmücken in Nordbayern. Zbl. Bakt. Hyg. A. 221, 283-295.

WEISSENBÖCK H., KOLODZIEJEK J., URL A., LUSSY H., REBEL-BAUDER B. & N. NOWOTNY (2002): Emergence of Usutu virus, an African mosquito-borne flavivirus of the Japanese encephalitis virus group, central Europe. Emerg Infect Dis. 8, 652-656.

Kontakt:

Prof. Dr. Martin Pfeffer
Institut für Tierhygiene & Öffentliches Veterinärwesen
Universität Leipzig
pfeffer@vetmed.uni-leipzig.de

Dr. Gerhard Dobler
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München
gerharddobler@bundeswehr.org

Pfeffer, M. & G. Dobler (2014): Biologie, Ökologie und medizinische Bedeutung von Stechmücken in Deutschland. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap. 3.2.6) - www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.