

MARTIN PFEFFER, Leipzig, ROLAND KUHN, Hochheim; GERHARD DOBLER, München

Einfluss des Klimas auf Vektor-übertragene Zoonosen

Schlagworte/key words: Arbovirus/arbovirus, Vektorkompetenz/vector competence, Neozoon/neozoa, Extrinsische Inkubationsperiode/extrinsic incubation period, *Aedes vexans*

Einleitung

In den letzten einhundert Jahren (1906–2005) hat sich die globale Temperatur nahe der Erdoberfläche um im Mittel $0,74^{\circ}\text{C} \pm 0,18^{\circ}\text{C}$ erwärmt (IPCC, 2007). Das dabei besonders Besorgniserregende ist jedoch, dass sich der Erwärmungstrend in der zweiten Hälfte des Beobachtungszeitraumes verdoppelte. Mit Ausnahme des Jahres 1996 gehörten alle Jahre nach 1995 zu den wärmsten seit dem Beginn regelmäßiger Temperaturerfassungen im Jahre 1850. Mittlerweile wird dieses als „global warming“ bekannte Phänomen allgegenwärtig wahrgenommen und auch die hauptsächlich anthropogenen (d.h. vom Menschen verursachten) Ursachen sind akzeptiert. Der 4. IPCC-Bericht aus dem Jahre 2007 geht konsequent mit den gefundenen Ergebnissen um und hat basierend auf unterschiedlichen Szenarien die Temperaturentwicklung der nächsten einhundert Jahre (2090–2099 jeweils basierend auf den Daten von 1990–1999) projiziert. Je nach Szenario (Anteil fossiler Energien, Reduktion von Treibhausgasen etc.) ergibt sich für Deutschland eine prognostizierte Erwärmung von $2,5^{\circ}\text{C}$ bis $3,5^{\circ}\text{C}$ bis zum Jahr 2100. Diese Erwärmung wird nicht gleichmäßig über Deutschland verteilt erfolgen und auch die zu erwartenden Niederschläge werden nicht gleich verteilt sein. Vereinfacht

dargestellt werden wir weltweit, aber eben auch in Deutschland einen Klimawandel erfahren, der uns vor viele neue Herausforderungen stellen wird. Neben den soziokulturellen Folgen, wird der Klimawandel auch Auswirkungen auf aquatische und terrestrische Ökosysteme mit sich bringen. Neben den direkten Gefahren für die Gesundheit von Tier und Mensch durch Sommerhitzewellen und thermischen Stress, werden viele indirekte Auswirkungen im Gefolge des Klimawandels die Gesundheit von Tier und Mensch betreffen (REITER, 2008; DUFOR et al., 2008; DOBSON, 2009; LAFFERTY, 2009; OSTFELD, 2009). In diesem Übersichtsartikel soll ein kleiner Aspekt der immensen Palette dieser indirekten Auswirkungen – der Einfluss des Klimas auf Vektor-übertragene Zoonosen – dargestellt werden. Von den Krankheiten des Menschen mit infektiöser Ursache sind ca. zweidrittel auch in der Lage Tiere zu infizieren (JONES et al., 2008). Viele dieser Zoonosen werden dabei von Erregern verursacht, die über einen belebten Vektor auf Mensch und Tier und nicht direkt vom Tier auf den Menschen oder vice versa übertragen werden. Bei den Vektoren handelt es sich meist um blutsaugende Gliederfüßler (Arthropoden) wie flugunfähige Zecken, Läuse, Flöhe, Wanzen, Milben und fliegende Insekten, wie z.B. Kriebelmücken oder Stechmücken. Die Ökologie der Pathogene, die durch

diese unterschiedlichen Arthropoden übertragen werden, unterscheiden sich entsprechend stark. Wir haben uns in der vorliegenden Arbeit auf die Stechmücken (Culicidae) und die durch sie übertragenen Viren (Arboviren) konzentriert, da wir bei dieser Gruppe profunde Auswirkungen des Klimawandels auf die Gesundheit von Tier und Mensch erwarten. Das Präfix Arbo steht als Akronym für Arthropod-borne (durch Arthropoden übertragen).

Einfluss des Wetters auf die Entwicklung heimischer Stechmückenarten

In Deutschland sind derzeit ca. 45 heimische Stechmückenarten bekannt, die ein Arbovirus als Vektor nutzen könnte. Das Verständnis der unterschiedlichen Ökologie der Stechmückenarten, die Tiere und auch den Menschen als Blutquelle nutzen, ist unabdingbare Voraussetzung hier eine vorsichtige Einschätzung bezüglich ihrer Vektorfunktion vornehmen zu können (MEDLOCK et al., 2007). 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 unterschiedliche Typen unterschieden werden: Während Weibchen einiger Stechmückengenera (*Anopheles*, *Culex*, *Culiseta*, *Uranotaenia*, *Coquillettia*) ihre Eier entweder einzeln oder in Gebinden, so genannten Flößen, direkt auf der Wasseroberfläche ablegen, werden die Eier der einheimischen *Aedes*- und *Ochlerotatus*-Arten auf dem Boden von Gewässerufeln abgelegt. Bei starken Regenfällen, lokaler Schneeschmelze oder größeren Überflutungen, entstehen temporär geflutete Wasserflächen, die eine vollständige Entwicklung ermöglichen (Abbildung 1). Naturgemäß schlüpfen die Larven der ersten Gruppe mehr oder weniger unmittelbar (1-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 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 „container breedern“ (s.u.) 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. Wie bereits angedeutet, ist auch die Entwicklung der Larven temperaturabhängig. Während es sich beim Schlüpfen dabei um einen Schwellenwert handelt, entwickeln sich die Larven 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 aus dem Labor und Feldbeobachtungen bekannt. Am Oberrhein hat die Erwärmung im Verlauf der letzten 50 Jahre etwa zu einer Verkürzung der Entwicklungszeit von *Aedes vexans* um 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 (BECKER, 2008). Anders ausgedrückt kann dies zum Schlupf von Adulten zwei Monate früher im Jahr führen. Das Ausmaß der Aktivität der Stechmücken ist neben Wind, Licht und dem physiologischen Zustand (vollgesogen, hungrig, gravide oder während der Paarung) v.a. 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

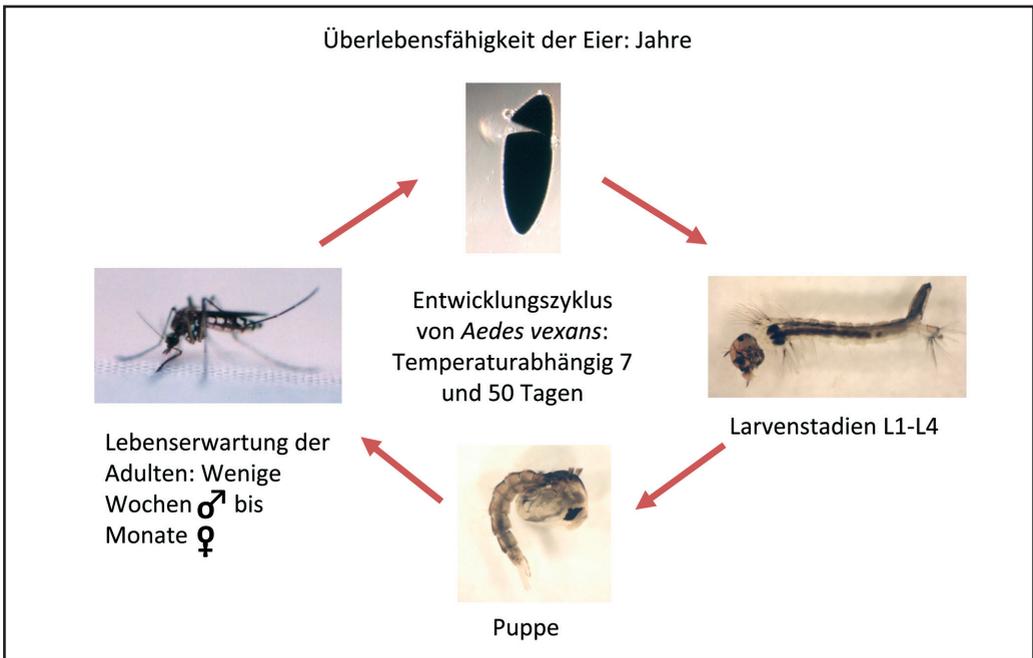


Abb. 1 Lebenszyklus Deutschlands häufigster Überschwemmungsstechmücke *Aedes vexans*. Die im Uferbereich von Gewässern abgelegten Eier können Jahre überdauern und bei entsprechendem Wasserdruck an einer Prädelektionsstelle die Larven ins Wasser entlassen. Nach vier Larvenstadien verpuppt sich das Tier, um in der Regel nach einem bis zwei weiteren Tagen als fertiges Insekt zu schlüpfen. Die Lebenserwartung der Adulten ist bei den Männchen nur wenige Wochen und bei den Weibchen wenige Monate. Die Überwinterung erfolgt im Eistadium. Der aquatische Teil des Entwicklungszyklus bis zum Schlupf der Stechmücken ist stark temperaturabhängig und dauert entsprechend zwischen einer Woche und 50 Tagen.

Voraussetzungen ihren Bedürfnissen nach zu gehen.

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 als Larve tun. In Bezug auf ihre Vektorfunktion sind v.a. 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 in den Wirtstieren und damit wieder in der Stechmückenpopulation zu erreichen, um damit die Etablierung eines Naturherdes zu ermöglichen.

Etablierung exotischer Stechmückenarten in „gemäßigten“ Breiten

Verschiedene Stechmückenarten spielen weltweit eine wichtige Rolle bei der Übertragung von Viren auf Tier und Mensch. Die drei wichtigsten sind *Aedes aegypti* als Überträger des Denguefiebers und des urbanen Gelbfiebers (beide durch die jeweiligen humanpathogenen Flaviviren verursacht), *Culex pipiens*, welches etliche Arboviren wie z.B. das West Nil Virus v.a. auf Vögel, Pferde und den Menschen überträgt, und *Aedes albopictus*, die sogenannte Asiatische Tigermücke. Diese Stechmückenart

ist entgegen ihres Namens fast weltweit verbreitet und dringt ständig weiter in derzeit noch nicht von ihr okkupierte Gebiete vor. Die erste Invasions-Meldung in neuerer Zeit kam 1979 aus Albanien. Seither verlängerte sich die Länderliste nahezu jährlich, in der dieser exotische Eindringling in Teilen Südamerikas, der Karibik, des Pazifik und vor allem in Nordamerika heimisch wurde. In Europa folgte 1990 Italien, 1999 Frankreich und ab der Jahrtausendwende 10 weitere Länder Europas, wobei in Belgien (2000) und Deutschland (2007) zwar *Ae. albopictus* gefunden wurde, der Nachweis eines autochthonen (d.h. vor Ort überwintert und im Sommer erfolgreich brütend) Vorkommens aber bislang noch nicht gelang (ENSERINK, 2008). Die Ursache für diese Invasionen ist in der Lebensweise der Mücke zu finden. Ähnlich wie *Ae. aegypti* ist auch *Ae. albopictus* ein „container breeder“ (Behälterbrüter) und hat sich insbesondere über den interkontinentalen Altrefenhandel sowie in neuerer Zeit mittels sogenannter „Lucky Bamboo“ (*Dracaena* sp.) -Importe aus Asien verbreitet (SCHOLTE et al., 2007). Die Verschleppung geschieht meist im Ei-Stadium. *Aedes*-Weibchen legen ihre Eier nicht auf der Wasseroberfläche ab, sondern wie andere sogenannte Überschwemmungs-Stechmücken, an den Rand potenzieller Gewässer oder Behälter. Daher weisen sie generell eine gewisse Trockenresistenz auf bzw. benötigen zur Reifung sogar eine Trockenphase. Dies kann sich über eine Zeitspanne von mehreren Monaten hinziehen, eine optimale Voraussetzung für das Überdauern eines längeren Schiffstransportes (HAWLEY, 1988). Eine weitere Strategie, die eine Besiedlung gemäßigter Breiten ermöglichte, ist die Überwinterung (ebenfalls im Ei-Stadium), die normalerweise bei tropischen Arten nicht vorkommt. Man vermutet allerdings, dass es in Asien entsprechend unterschiedliche Wildpopulationen gibt, d.h. dass sich insbesondere aus den gemäßigten Regionen Japans und Koreas stammende Mücken in nördlicheren Regionen (USA, Europa) ansiedeln, während die Populationen in Südamerika und Afrika aus dem tropischen Südostasien stammen (KRÜGER, 2008). Die Vektorkompetenz (s.u.) dieser überaus erfolgreichen Stechmückenart wurde bereits für 24 Arboviren sowie für Dirofilarinen gezeigt (GRATZ, 2004). Es handelt sich somit um einen

sehr kompetenten Vektor, der gepaart mit seinem aggressiven Stechverhalten zur Verbreitung etlicher Pathogene beiträgt. Sollte sich *Ae. albopictus* auch in Deutschland dauerhaft ansiedeln, erfährt die Diskussion um exotische Seuchenerreger notgedrungen eine völlig neue Qualität (ECDC, 2009). Das Vorkommen von *Ae. albopictus* in Norditalien wurde für den ersten Ausbruch von Chikungunya Virus in Europa verantwortlich gemacht (REZZA et al., 2007). Eine verwandte Art, *Aedes japonicus*, ist bereits bei uns heimisch geworden. Auch diese Art ist eigentlich in Asien beheimatet und hat sich seit 1998 in 23 Bundesstaaten der USA etabliert und hat ebenso Teile des südlichen Europas besiedelt. Im Rahmen von Monitoringprogrammen, die eigentlich darauf abzielten *Ae. albopictus* frühzeitig zu erkennen, wurde diese Art relativ weit verbreitet in der Schweiz und dem benachbarten Süddeutschland gefunden (A. MATHIS, pers. Mitteilung, 2009). *Ae. japonicus* ist ein effektiver und bekannter Vektor für West Nil Virus und weitere Enzephalitisviren (u.a. St. Louis-, Japan B- und Östliches Pferdeenzephalitis-Virus). Somit muss für die bekannten und die möglichen Vektoren festgestellt werden, dass die bislang in den Tropen und Subtropen beheimateten Stechmückenarten sich inzwischen durchaus in den jetzt wärmeren gemäßigten Breiten etablieren können.

Einfluss des Wetters auf die Beziehung zwischen Vektor und Virus

Das wesentliche Kriterium, ob sich ein Arbovirus in Deutschland etablieren kann, ist dass es einen Vektor finden muss, der eine generelle, genetisch determinierte Vektorkompetenz für diesen Erreger besitzt. Hierbei handelt es sich um die Fähigkeit der Stechmücke nach Aufnahme mit einer infektiösen Blutmahlzeit das Virus wieder an einen anderen Wirt bei einer nachfolgenden Blutmahlzeit mit dem Speichel abzugeben. Wie oben bereits ausgeführt muss darüber hinaus ein empfänglicher Wirt zur gleichen Zeit am gleichen Ort vorhanden sein, damit es zu einer Übertragung des Virus kommt. Die Vektorkompetenz allein ist also Voraussetzung aber nicht alleine ausreichend, damit sich ein Naturherd etablieren kann. Die Zeitspanne,

die ein Virus in der Stechmücke benötigt, um wieder auf einen neuen Wirt übertragen werden zu können, ist bei den einzelnen Viren und Stechmücken unterschiedlich. Während dieser so genannten extrinsischen Inkubationsperiode muss das Arbovirus vier Barrieren überwinden: Vom Mitteldarm in die Epithelzellen des Mitteldarms, vom Darm in die Hämolymphe (= Blut der Insekten), von dort in die Zellen der Speicheldrüsen. Zu Beginn des Saugaktes (Blutmahlzeit) sezernieren diese Zellen mit Viren versetzten Speichel und injizieren dieses Gemisch durch den Stechrüssel in die Blutbahn des nächsten Wirts (Abbildung 2).

Dieser Ablauf ist in hohem Masse temperaturabhängig. Für Dengue Virus reduziert sich beispielsweise diese Zeitspanne in seinem Hauptüberträger *Aedes aegypti* 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 extrinsische Inkubationsperiode in *Culex quinquefasciatus* von 3 Wochen bei 26°C auf nur 5 Tage bei ei-

ner 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 (Abbildung 3).

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 animaler und humaner Infektionen, wenn Tier und Menschen in dem Naturherd exponiert sind.

Eine Virusübertragung ist aber auch in den wärmeren Tropen in der Regel saisonal. Der Fakt allein ist jedoch nicht ausreichend, um zu postulieren, dass eine wärmere Saison notwendigerweise auch eine höhere Virusübertragung bedeutet (REITER, 2001).

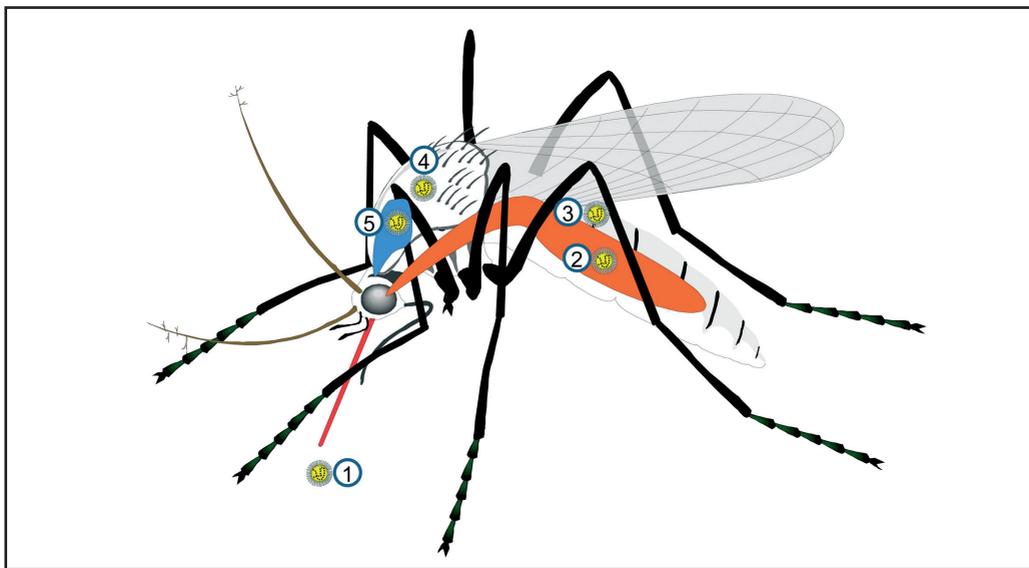


Abb. 2 Schematische Darstellung der Vektorkompetenz einer Stechmücke. Das Arbovirus muss in der Stechmücke vier Barrieren überwinden, bevor es bei einer weiteren Blutmahlzeit auf einen neuen Wirt übertragen werden kann. Nach der Aufnahme des Virus durch den Stich an einem virämischen Wirt (1) gelangt das Virus in den Mitteldarm der Stechmücke, wo es die Mitteldarmzelle infizieren können muss (2). Nach einer ersten Phase der Vermehrung, muss das Virus in der Lage sein, die Mitteldarmzelle in Richtung Hämolymphe zu verlassen (3) und die Speicheldrüsenzellen über deren Basalmembran zu infizieren (4). Bei einer weiteren Blutmahlzeit wird das Virus mit dem Speichel während des Stechaktes auf einen empfänglichen Wirt übertragen (5). Die Zeit, die ein bestimmtes Arbovirus in einem Vektor hierfür benötigt, wird als extrinsische Inkubationsperiode bezeichnet.

Beispiele für die Dauer der extrinsischen Inkubationsperiode:

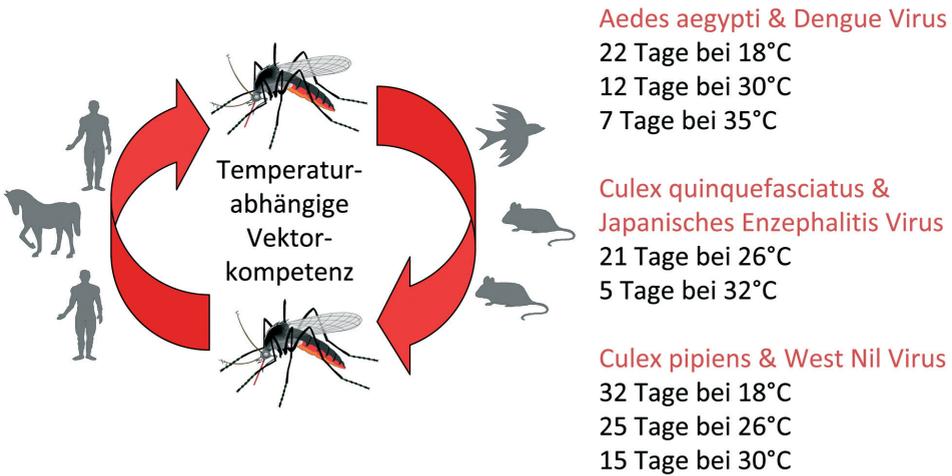


Abb. 3 Die extrinsische Inkubationsperiode ist bei verschiedenen Arboviren und auch bei verschiedenen Stechmückenarten unterschiedlich lang und stark temperaturabhängig. Wie die Beispiele zeigen, verkürzt sich diese Zeitspanne je wärmer es ist. Wird die extrinsische Inkubationsperiode selbst bei einem kompetenten Vektor unterschritten, findet keine Virusübertragung auf den gestochenen Wirt statt. Im Gegensatz hierzu geht man davon aus, dass ein einmal infizierter Vektor nach der extrinsischen Inkubationsperiode lebenslang infektiös ist.

Im westlichen Teil Europas konnten bisher neun verschiedene Viren von drei unterschiedlichen Virusfamilien aus Stechmücken isoliert werden. Es sind dies Sindbis- und Chikungunya Virus (*Togaviridae*), West Nil-, Rabensburg- und Usutu Virus (*Flaviviridae*) sowie Tahyna-, Inkoo-, Batai- und Lednice Virus (*Bunyaviridae*; HUBÁLEK, 2008). Jedes dieser Viren weist einen eigenen natürlichen Übertragungszyklus auf und kann in unterschiedlichen Stechmückenarten nachgewiesen werden (LUNDSTRÖM, 1994; 1999). Für sechs dieser neun Viren ist eine Pathogenität für Mensch und Tier belegt (HUBÁLEK & HALOUZKA, 1996). In Deutschland wurde bisher nur ein Stechmücken übertragenes Arbovirus, Tahyna Virus aus der Gruppe der California Enzephalitis Viren der Familie *Bunyaviridae* nachgewiesen. SPIECKERMANN gelang Ende der 1960er Jahre die Isolierung aus Stechmücken in Nordbayern (SPIECKERMANN & ACKERMANN, 1972). PILASKI konnte Anfang der 1980er Jahre Tahyna Virus aus Stechmücken im Oberrheintal isolieren (PILASKI & MACKEN-

STEIN 1985). 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. Seit dieser Zeit gelangen in Deutschland keine Virusisolierungen mehr. Im Rahmen einer Dissertation gelang SCHÜSSLER Ende der 1990er Jahre aus mehr als 10.000 Stechmücken der Nachweis Tahyna Virus-spezifischer RNA mittels der PCR (SCHÜSSLER, 2000). Dieser Nachweis ist von Bedeutung, da er zeigt, dass Tahyna Virus zumindest in der Oberrheinebene über mindestens zwei Dekaden unabhängig von wechselnden Umweltbedingungen in diesem Naturherd zirkulierte.

Aktuell existieren keine Hinweise, dass in Deutschland außer dem Tahyna Virus noch weitere, durch Stechmücken übertragene Arboviren vorkommen. 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 molekularbiologische und serologische Untersuchungen in Vögeln und Menschen in verschiedenen Teilen Deutschlands durchgeführt (LINKE et al., 2007). West Nil Virus gilt als der wichtigste Kandidat für eine Einwanderung aus Südost- nach Zentraleuropa, denn entsprechende Vektoren für eine Übertragung und auch potentielle nicht-immune Vertebratenwirte (Vögel, Pferde) sind in ausreichendem Maße vorhanden (BALENGHIEN et al., 2008). West Nil Virus kommt seit Jahrzehnten in Südosteuropa und v.a. im Mittelmeergebiet vor. Die Auswertung der verfügbaren Daten zu Virusisolationen und zum Auftreten von menschlichen und tierischen Erkrankungen weisen keine Hinweise für eine Ausbreitung in Richtung Norden nach Zentraleuropa auf (HUBALEK & HALOUZKA, 1999).

Allerdings kann West Nil Virus nur wenige hundert Kilometer südöstlich von Süddeutschland nachgewiesen werden und neuere Daten aus Ungarn und Österreich zeigen eine vermehrte Aktivität von WNV sowie den Nachweis von bislang noch nicht in Europa gefundenen WNV der genetischen Linie 2 (BANKONYI et al., 2006; NOWOTNY pers. Mitt., 2009). Dies ist bemerkenswert, weil es ein eindeutiger Hinweis für eine Neueinschleppung von WNV ist. Über die Faktoren, die zur Verbreitung des West Nil Virus notwendig sind, gibt es bisher keine genaueren Kenntnisse. Allerdings scheinen die augenblicklichen ökologischen Verhältnisse in Deutschland für eine dauerhafte Zirkulation des West Nil Virus ungeeignet, da aus Untersuchungen an Vögeln anzunehmen ist, dass das Virus über Zugvögel wohl immer wieder nach Deutschland eingeschleppt werden könnte. Ein klimaassoziierter Risikofaktor für einen WNV 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 WNV 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 Regenmo-

delle 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. Auch für das bereits beschriebene Tahyna Virus und die es übertragende Überschwemmungs-Stechmücken wäre diese Entwicklung günstig.

Das dem WNV nahe verwandte Usutu Virus wurde ebenfalls erst in diesem Jahrtausend nach Europa, genauer gesagt nach Österreich, eingeschleppt und hat sich im Großraum Wien zwischen 2001 und 2004 langsam ausgebreitet und v.a. bei Amseln zu erheblichen Verlusten geführt (WEISSENBOCK et al., 2002; 2003; MEISTER et al., 2008). Nach 2003 jedoch nahm die Zahl der mittels eines initiierten Monitoringprogrammes erfassten Fälle bei Vögeln wieder stark ab, was mit einer zunehmenden Immunitätslage bei den empfänglichen Vogelpopulationen erklärt wurde (MEISTER et al., 2008). Interessant ist jedoch, dass es seither zu Usutu Virus-Infektionen bei Vögeln in Ungarn, der Schweiz und in Italien kam, die lokal derzeit noch relativ begrenzt verliefen, aufgrund von genetischen Untersuchungen aber sehr wahrscheinlich von den in Österreich kursierenden Virustypen verursacht wurden. Ein Erklärungsmodell für die Dynamik der beobachteten Usutu Virus-Aktivität in Österreich zeigte eine klare Korrelation zur Temperatur der betreffenden Sommer: Im Jahr 2003 war es nicht nur der wärmste Sommer in der Beobachtungsperiode, sondern er begann auch schon sehr früh, so dass der Zeitraum, wie oben ausgeführt, zur Amplifikation des Virus in der Stechmückenpopulation und der Vogelpopulation ausreichte und eine entsprechende Anzahl von Infektion sowie eine geographische Verbreitung erfolgen konnte (RUBEL et al., 2008). Während in Nordeuropa unter vermutlich für Viren deutlich ungünstigeren Bedingungen Sindbis Virus (Synonym: Ockelbo Virus; Genus Alphavirus) zirkuliert und auch zu Infektionen des Menschen führt, existieren bisher keine Daten, die die Verbreitung und Zirkulation eines Alphavirus in Deutschland vermuten lassen (MODLMAIER et al., 2002). Nachdem dieses Alphavirus auch Vogel-assoziiert ist, sollte

auch eine Einschleppung durch Zugvögel in der Vergangenheit vielfach passiert sein, ohne allerdings ebenfalls zu einer Etablierung eines Naturherdes zu führen. Auch hierzu werden die wichtigen ökologischen Faktoren für eine Zirkulation des Virus bisher nicht verstanden. Hier ist es eher unwahrscheinlich, dass die Klimaänderung zu einer entsprechenden Etablierung führen könnte (PFEFFER et al., 2007).

In einer Region in Mähren, in der auch West Nil Virus nachgewiesen werden konnte, werden zwei weitere durch Stechmücken übertragene Arboviren nachgewiesen: Lednice Virus und Batai Virus. Zur Ökologie dieser beiden Viren sind bisher keine Informationen verfügbar. Auch wurden bisher keine Studien über ein mögliches Vorkommen dieser Viren in Deutschland durchgeführt. 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. Batai Virus infiziert aber auch große und kleine Wiederkäuer und Schweine. Wie von vielen RNA-Viren mit segmentiertem Genom bekannt, scheint Batai Virus vor allem im östlichen Afrika Gensegmente mit anderen verwandten Bunyaviren auszutauschen. In wie weit diese Art der antigenetischen Veränderung sowohl das Wirtsspektrum, als auch die Vektorkapazität von Stechmückenarten beeinflusst, weiß man derzeit nicht, da entsprechende Untersuchungen fehlen, aber es scheint im Analogieschluss zu dem was bei anderen Bunyaviren bekannt ist, durchaus wahrscheinlich (YANASE et al., 2006).

Einfluss des Wetters auf das Vorkommen von Arboviren

Während die beschriebenen Wetterphänomene und das daraus resultierende Klima mit seinen Schwankungen und ggf. auch mit den vorausgesagten Veränderungen eher langfristig auf das

Auftreten von Vektoren und der durch sie übertragenen Infektionskrankheiten wirken, zeigen viele Beispiele der letzten Jahre, dass extreme Wetterereignisse auf aktuelle Seuchengeschehen einen größeren Einfluss ausüben können.

Wetteranomalien der El Niño-Ereignisse sind deutlich mit einem Anstieg von verschiedener Infektionskrankheiten assoziiert, einschließlich neuer, bisher nicht bekannter („emerging“) oder in einer Region zuvor als ausgerottet geltender Infektionen („re-emerging“) (GOULD et al., 2006). Beispiele sind u.a. die starke Ausweitung des bekannten Verbreitungsgebiets der Japan Enzephalitis in Indien, die bisher heftigsten Ausbrüche der Epidemischen Polyarthritits (Ross River Virus) in Australien, das seit Jahrzehnten erstmalige epidemische Auftreten des West Nil Fiebers in Südafrika oder das erstmalige Auftreten einer neuen, bisher nicht beschriebenen Enzephalitis-Form („Rocio-Enzephalitis“) in Brasilien. Alle diese Seuchengeschehnisse traten während der besonders starken El Niño-Periode 1973/74 auf (DOBLER & JENDRITZKY, 1998).

Im Rahmen eines ebenfalls starken El Niño-Zeitraums von 1993 bis 1995 trat das Dengue Fieber erstmals in Arabien, Pakistan und auf den Komoren auf. In Nordamerika wurde im Rahmen eines Ausbruchsgeschehens das Kardiopulmonale Hantavirus-Syndrom (Sin Nombre Virus) erstmalig nachgewiesen. Brasilianisch Hämorrhagisches Fieber (Sabia Virus) trat erst- und seither einmalig auf. Alle diese Virusinfektionen werden durch Vektoren (Arthropoden, Nagetiere) auf den Menschen übertragen.

Ein Beispiel für die Abhängigkeit eines Virus-Naturzyklus von extremen Wettersituationen ist das vor allem in Afrika auftretende Rift Valley Fieber. Der hauptsächliche Übertragungsmechanismus ist die transovarielle Übertragung von infizierten Stechmücken auf ihre Eier, die in Ostafrika in sogenannte Dambos gelegt werden. Dabei handelt es sich um Erdvertiefungen, die nur während der Regenzeit Wasser führen. Nach heftigen Regenfällen werden die Dambos überschwemmt und die im Boden abgelegten Stechmücken-Eier können sich über die aquatischen Larven zu Stechmücken entwickeln. Die große Epizootie und Epidemie im Herbst 2006 in Somalia, Kenia, Tansania und Ruanda verursachte vermutlich mehr als 1.000 Erkrank-

kungsfälle (> 300 Todesfälle) bei Menschen und zehntausende Erkrankungsfälle bei Haustieren (WHO, 2007).

Das Beispiel der Epidemischen Polyarthritits zeigt, dass ein Anstieg des Meeresspiegels indirekt auch zu einem Anstieg von Infektionskrankheiten führen kann. Das Virus der in Australien und Teilen Ozeaniens vorkommenden Infektion ist das Ross River Virus. Es wird durch Stechmücken übertragen, darunter auch Arten, die in Salzmarschen leben. Durch einen Anstieg des Meeresspiegels um einige Zentimeter entwickelten sich große Areale an den Küsten Australiens in Marschgebiete. Dadurch nahmen die Mücken-Populationen zu, was wiederum zu einem Anstieg von Erkrankungsfällen mit epidemischen Ausmaßen führte (RUSSELL & CLOONAN, 1989).

Die aus dem El Niño resultierenden Wetteranomalien mit starken Niederschlägen, Überschwemmungen, Dürren oder Hitzeperioden führen zum Ansteigen von Vektorpopulationen. Grundsätzlich weisen Vektoren von Arboviren deutlich höhere Reproduktionsraten auf als deren Fressfeinde. Damit erholen sich Vektoren deutlich rascher von Phasen schlechter Witterung. Vektoren (Arthropoden, Nagetiere) können kurzfristig hohe Populationen aufbauen und effizient für die weitere Zirkulation der Viren sorgen. Durch die rasche Generationsfolge können sie sich auch deutlich schneller und besser an veränderte Umweltbedingungen anpassen und diese sogar zu ihrem Vorteil ausnutzen. Auf der anderen Seite können sich extreme Klimabedingungen auch destruktiv auf bestehende Naturherde auswirken und die Zahl der Infektionen bei Tier und Mensch reduzieren.

So war es 1996 zumindest zum Großteil dem Hurrikan Andrew zu verdanken, dass ein Ausbruch von Östlicher Pferdeenzephalitis (EEE) an der Ostküste Nordamerikas gestoppt wurde. Auch die Anzahl der humanen Fälle von WNV- und St. Louis Enzephalitis-Virusinfektionen gingen in den US-Bundesstaaten Louisiana und Mississippi nach dem Hurrikan Katrina im Sommer 2005 im Vergleich zu den Vorjahren zurück (FOPPA et al., 2007; LEHMAN et al., 2007). Mit der Zerstörung der Biotope und Habitate wurden offensichtlich auch die durch die dort ansässigen Stechmücken übertragenen Arboviren dezimiert.

Einfluss des Wetters auf den Wirt

Während der Einfluss von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung auf die Übertragungskapazität von Arthropoden ansatzweise verstanden wird, sind die möglichen Einflüsse zwischen Wetter und der Virus-Wirtsbeziehungen deutlich unklarer. Nachdem die meisten in Frage kommenden Wirbeltier-Wirte von Arboviren Warmblüter sind, spielt hier die Umgebungstemperatur für die Virusreplikation keine Rolle. Eine Ausnahme stellen Infektionen in Reptilien dar. Die Bedeutung von Reptilien für die Aufrechterhaltung von Arbovirus-Naturzyklen ist jedoch weitgehend unerforscht. Immer wieder wurde über entsprechende Isolierungen, u.a. in Schlangen oder Amphibien berichtet. Der wiederholte Nachweis des Virus der Westlichen Pferdeenzephalitis in Strumpfbandnattern (*Thamnophis sirtalis*) und in Leopardenfroschen (*Rana pipiens*) legte die Möglichkeit nahe, dass diese poikilothermen Wirbeltiere als Überwinterungswirte für Alphaviren dienen könnten (REEVES, 1974). Hierbei könnten die niedrigen Körpertemperaturen zu einer deutlich verlangsamten oder sistierenden Virusreplikation führen, während der Temperaturanstieg im Frühjahr die Replikation der vorhandenen Arboviren wieder ansteigen lässt und so als erste Virusquelle der neuen Saison für blutsaugende Arthropoden dienen könnte (REEVES, 1974).

Wetterparameter und längerfristig auch das Klima weisen jedoch einen deutlichen Einfluss auf die Populationen und deren Strukturen von Wirbeltieren auf. Das Wetter kann bei entsprechend geeigneten Bedingungen zu einer raschen Generationsfolge bei Nagetieren oder Vögeln über einen längeren Zeitraum führen. Damit steht über eine längere Periode (z.B. vom Frühjahr bis in den Spätherbst) immer eine ausreichende Zahl von empfänglichen, nicht immunen Tieren zur Verfügung, die als Amplifikatoren für den Viruszyklus dienen können. Weiterhin können Wetterbedingungen die Vermehrungszyklen sowohl von Arthropoden und Vertebraten synchronisieren. Bei plötzlich einsetzenden günstigen Wetterbedingungen für Arthropoden und Vertebraten nach einer längeren ungünstigen Periode kommt es zum synchronisierten Anstieg sowohl von Vektoren als auch

von Wirten, die eine entsprechende Viruszirkulation ermöglichen und ggf. über hohe erreichte Vektordurchseuchungen zum Übersprung auf Menschen oder Tiere und damit zum Ausbruch von Epidemien oder Epizootien führen können. Ein entsprechendes Phänomen wird hinter dem größten bisher beobachteten Ausbruch einer St. Louis Enzephalitis in den USA im Jahr 1933 vermutet (LUMSDEN, 1958).

Das Klima kann auch das Verhalten von Wirbeltieren beeinflussen. So wird zunehmend beobachtet, dass Zugvögel aufgrund der zunehmend milderen Temperaturen in den gemäßigten Breiten die Winter in den Brutgebieten verbringen. Damit fliegen sie nicht mehr in tropische und subtropische Regionen. Von dort, so wird diskutiert, werden tropische und subtropische Arboviren mit Zugvögeln in gemäßigte Breiten importiert (SCOTT, 1988).

Das menschliche Verhalten bildet den entscheidenden Faktor für das Auftreten durch Arboviren hervorgerufener Infektionen (Abbildung 4). Für die meisten dieser Infektionen spielt der Mensch keine Rolle im natürlichen Übertragungszyklus der jeweiligen Viren. Einzige Ausnahmen sind das Dengue Fieber, das Gelbfieber und das O'nyong nyong Fieber. Für die beiden ersten Infektionen existieren neben den ursprünglichen natürlichen Übertragungszyklen (sylvatischer Übertragungszyklus, Primaten als natürliche Wirte) auch so genannte urbane Naturzyklen (GOULD & HIGGS, 2009). Im Rahmen dieser urbanen Zyklen dienen Menschen als Wirte für die Amplifikation des Virus und die Aufrechterhaltung des Viruszyklus. Dies führt insbesondere in Westafrika regelmäßig zu epidemischen Ausbrüchen des Gelbfiebers und dieser urbane Zyklus ist für die aktuelle Ausbreitung der Dengue Viren verantwortlich. Für alle anderen bekannten Arbovirus-Infektionen (Ausnahme O'nyong nyong Virus, dessen natürlicher Wirt bisher unbekannt ist), spielt der Mensch für die Aufrechterhaltung des Naturzyklus keine Rolle. Menschliche Erkrankungen treten dann auf, wenn der Mensch durch sein Verhalten mit Vektoren in Kontakt kommt oder durch seine Aktivitäten die Umwelt so verändert, dass entsprechende Vektoren mit dem Menschen in Kontakt kommen können. Arbovirus-Infektionen von Mensch und Tier sind damit als empfindliche Indikatoren für eine

Störung von Naturzyklen verschiedener Viren anzusehen.

Hierzu zeigen sich vielfältige Auswirkungen und Interaktionen. Politische Entscheidungen können enorme Auswirkungen auf globales Klima, lokale Folgen von Wetterereignissen oder das menschliches Verhalten aufweisen (Abbildung 4). Daneben ist das individuelle menschliche Verhalten ein wichtiger, vielleicht sogar in vielen Fällen der entscheidende Faktor für das Auftreten von Infektionskrankheiten. Sehr gut untersucht ist dies bei dem auch in Deutschland vorkommenden, durch Zecken übertragenen Virus der Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME). Steigende Inzidenzen beim Menschen korrelieren mit sozialen Faktoren unserer modernen Gesellschaft (DOBLER et al. 2005). Die aktuelle, an sich begrüßenswerte Tendenz zu einer ökologisch angepassten Lebensweise führt wieder dazu, dass ein intensiverer Kontakt mit der Natur stattfindet. So führte der Genuss von frischer Ziegenmilch in der Slowakischen und Tschechischen Republik und im Baltikum in den letzten Jahren verschiedentlich zu Mikroausbrüchen von FSME, da die Ziegen im infizierten Stadium das FSME-Virus über die Milch ausscheiden. Ebenfalls führen die zunehmenden Aktivitäten in der Natur im Zuge der aktuellen Wellness-Bewegung zum Kontakt mit Vektoren. Aktivitäten der Nahrungs- (Pilze, Beeren) und Feuerholzsuche sind als Risikofaktoren für eine FSME im Baltikum identifiziert worden (SUMILO et al., 2007). Diese Aktivitäten sind, wie am Beispiel der FSME erkennbar ist, stark von der jeweils aktuellen Witterung bestimmt. Es zeigt sich ein eindeutiger Zusammenhang zwischen der Witterung und dem Auftreten von FSME-Erkrankungsfällen beim Menschen.

Ein weiterer Aspekt bei den Wirten ist neben einer möglichen Immunität gegen ein bestimmtes Arbovirus deren Verfügbarkeit (HARVELL et al., 2009). Dabei ist das Verhalten – in Bezug auf das Wetter – von Tieren und Menschen ähnlich, ein interessanter Aspekt jedoch ist die zunehmende Zahl und Abundanz von Neozoen. Gerade im Kontext der Jagd- und Wildtierforschung sollte hier ein Augenmerk auf Tierarten gelegt werden, die eigentlich nicht bei uns heimisch sind. Sie könnten von Seiten des Wirtes her die Etablierung eines Naturherdes möglicherweise begünstigen, da sie vielleicht bei Infektion

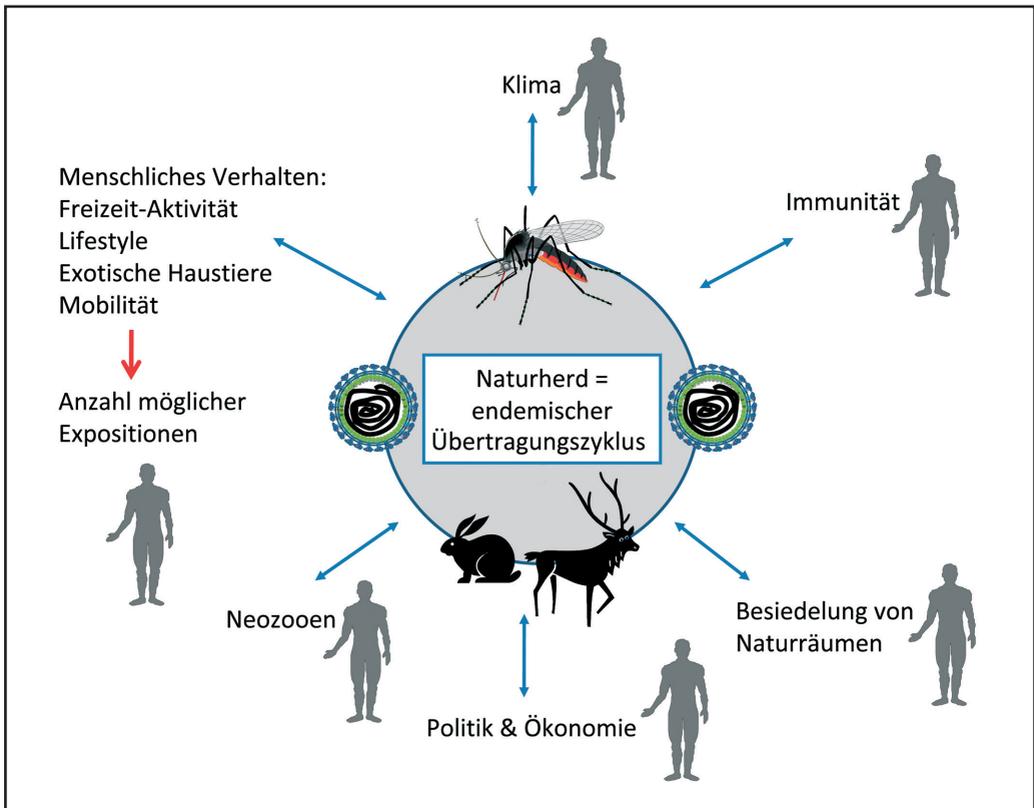


Abb. 4 Schematische Darstellung der Wechselbeziehungen zwischen Wirt, Virus und Vektor mit einigen ihrer wichtigsten Einflussmöglichkeiten. Die Menschensymbole um den endemischen Übertragungszyklus bedeuten einen direkten oder indirekten Einfluss des Menschen auf den Naturherd und gleichzeitig auch die Möglichkeiten der eigenen Exposition. Kompetente (generell in der Lage ein Arbovirus zu übertragen), infektiöse (eine ausreichende Menge infektiöser Viren in der Speicheldrüse) Vektoren, die eine Blutmahlzeit für ihre Fortpflanzung von einem Wirt benötigen, der für das Virus empfänglich ist (nicht immun, generell infizierbar, hohe Virustiter während einer Virämie ausbildend) und an dem der Vektor auch saugen kann. Nur wenn diese Gegebenheiten zur gleichen Zeit am gleichen Ort gegeben sind, kommt es zur Übertragung des Arbovirus. Um ein entsprechendes Ausbruchsgeschehen auszulösen, muss dieses Ereignis mehrfach und über einen gewissen Zeitraum erfolgen, da sich andernfalls auch kein Naturherd dauerhaft etablieren kann.

mit einem bestimmten Arbovirus eine Virämie ausbilden und somit zur Weiterverbreitung beitragen können. Die steigende Bedeutung, oder in Bezug auf Arboviren besser gesagt mögliche Bedeutung, verdeutlichen Zahlen über exotische Tiere in den USA. Danach wurden im Jahr 2002 49 Millionen Amphibien in die USA importiert (GINSBURG, 2004). Jährlich werden ca. 1,9 Millionen Reptilien eingeführt und der Bestand an kleinen Heimtieren in den USA, die nicht Hund und nicht Katze sind, wird auf 16,8 Millionen geschätzt (APPMA, 2003). In Deutschland sind

seit der Entdeckung Amerikas im Jahre 1492 bislang 1322 Neozooenarten dokumentiert, von denen sich 262 Arten fest in unserer Natur etabliert haben (SCHMIDT, 2004). Darunter sind etliche Säugetierarten wie Waschbär, Marderhund, Dam- und Muffelwild, die fester Bestandteil der heimischen Waldfauna geworden sind und über deren Empfänglichkeit gegenüber Arboviren nichts bekannt ist. Eine Bestandsaufnahme z.B. der Ekto- und Endoparasitenfauna sowie der Befallsraten, aber auch Untersuchungen wie häufig und von welchen Stechmücken

diese Tiere als Blutquelle genutzt werden, wären ein erster Schritt die Rolle von Neozoen bei neuauftretenden Erkrankungen besser abschätzen zu können. Die Rolle von Wildtieren beim Auftreten von neuen und wieder auftretenden Zoonosen ist mittlerweile für viele Erreger bekannt, bei den meisten hiervon handelt es sich um Vektor-übertragene Infektionen, wie dem WNV, Borrelien, der Pest, der Hasenpest, den Hantaviren um nur einige zu nennen (BENDIS et al., 2004).

Kritische Einschätzung des Wettereinflusses auf Stechmücken übertragene Erkrankungen

In Abbildung 4 sind die wichtigsten Einflussgrößen auf einen Naturherd vereinfacht dargestellt. Das Klima ist nur eine der Stellgrößen, die hier von Bedeutung sind. Alle Aspekte sind vom Menschen beeinflusst, bzw. von ihm direkt oder indirekt induziert. Dass eine Klimaerwärmung sowohl die Chancen der Einschleppung und Etablierung von exotischen, kompetenten Stechmückenarten, als auch die Chancen in Deutschland eine Naturherd eines bislang noch nicht heimischen Arbovirus zu etablieren, erhöht, lässt sich nicht von der Hand weisen, da sich die Lebensbedingungen für Stechmücken generell verbessern werden. Die Vergangenheit zeigt, dass es sowohl zur Etablierung von neuen Stechmückenarten, als auch zu Ausbrüchen mit bislang tropischen Arboviren in Europa kommen kann.

Das Wetter hat aber im Vergleich zum Menschen einen deutlich geringeren Einfluss auf derartige Ereignisse. Das menschliche Verhalten spielt hier eindeutig die Hauptrolle (Abbildung 4). Es gilt also unsere Aktivitäten im Hinblick auf das Entstehen zoonotischer Erkrankungen kritisch zu hinterfragen und möglicherweise Konsequenzen im Welthandel und bei der Haltung von exotischen Tieren zu ziehen. Da derartige Forderungen ökonomische Konsequenzen haben die offensichtlicher sind, als die möglichen Folgen einer „neuen“ Infektionskrankheit, sollte zumindest in die Erforschung der Zusammenhänge von Vektor-übertragenen Infektionen investiert werden, um für die wärmere Zukunft besser gerüstet zu sein.

Zusammenfassung

Die mit dem letzten Klimabericht projizierte globale Erwärmung hat auch in Bezug auf mögliche Veränderungen bei Infektionskrankheiten eine lebhafte Diskussion in Gang gesetzt.

In dem vorliegenden Übersichtsartikel wird am Beispiel einiger Stechmücken übertragener Viren dargestellt, was derzeit über den Einfluss des Wetters auf die komplexen Wechselwirkungen zwischen Wirt, Virus und Vektor bekannt ist.

Darüber hinaus wird der Versuch unternommen eine vorsichtige Abschätzung möglicher Folgen einer Klimaerwärmung auf die beteiligten Faktoren abzugeben und dies an bereits beobachteten Ereignissen darzustellen. In der Summe der Faktoren, die ein neues oder erneutes Wiederauftreten von Infektionskrankheiten begünstigen, spielt derzeit das Klima noch eine untergeordnete Rolle. Zurzeit sind wir mit unserem Verhalten für die in der jüngeren Vergangenheit vermehrt beobachteten „emerging“ oder „re-emerging diseases“ maßgeblich verantwortlich.

Summary

Influence of climate on vector-borne infectious diseases

The projected global warming and the simultaneous increase in infectious diseases is suggesting a causative relationship which currently attracts lot of attention and which is the subject of an ongoing debate between many professions and the public. Taking mosquito-borne arboviruses as an example, we aim to give an overview on the current knowledge about the influence of weather on the complex interactions between host, virus, and vector. Further we want to provide projections on each of the participating factors based on what has been observed in the past.

In summary we find that weather does have an effect on the prevalence of arboviruses in nature but that the incidence of the diseases they cause in man and animals is anthropogenic. Human behavior accounts for the most part on the observed increase in emerging and re-emerging diseases.

Danksagung

Die Arbeiten von MP und GD werden im Rahmen des BMBF-Netzwerkes „Arbovirusinfektionen in Deutschland“ unter dem Kennzeichen 01KI0712 finanziell gefördert.

Literatur

- APPMA (American Pet Products Manufacturers Association) (2003): APMPMA national pet owners survey 2003–2004. – Greenwich. http://americanpetproducts.org/pubs_survey.asp.
- BALENGHIEN, T.; VAZELLE, M.; GRANDADAM, M.; SCHAFFNER, F.; ZELLER, H.; REITER, P.; SABATIER, P.; FOUQUE, F.; BICOUT, D.J. (2008): Vector competence of some French *Culex* and *Aedes* mosquitoes for West Nile virus. – *Vector Borne Zoonotic Dis.* **8**: 589–95.
- BAKONYI, T.; IVANICS, E.; ERDELYI, K.; URSU, K.; FERENCZI, E.; WEISSENBOCK, H.; NOWOTNY, H. (2006): Lineage 1 and 2 strains of encephalitic West Nile virus, Central Europe. – *Emerg. Infect. Dis.* **12**: 618–623.
- BECKER, N. (2008): Influence of climate change on mosquito development and mosquito-borne diseases in Europe. – *Parasitol Res* **103** (Suppl 1): S19–S28.
- BENDIS, R.G.; LEIGHTON, F.A.; FISCHER, J.R.; ARTOIS, M.; MÖRNER, T.; TATE, C.M. (2004): The role of wildlife in emerging and re-emerging zoonoses. – *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* **23**: 497–511.
- DOBLER, G.; JENDRITZKY, G. (1998): Krankheiten und Klima. – In: LOZAN, J.L.; GRASSL, H.; HUPFER, P. (Hrsg.) *Das Klima des 21. Jahrhunderts*. S. 334–340. – Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg 1998.
- DOBLER, G.; ESSBAUER, S.; WÖLFEL, R.; PFEFFER, M. (2005): Interaktionen von Ökologie und Epidemiologie am Beispiel der FSME. Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 29, S. 43–52. Hrsg. Von der Bayerischen Akademie der Wissenschaften. – Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.
- DOBSON, A. (2009): Climate variability, global change, immunity, and the dynamics of infectious diseases. – *Ecology* **90**: 920–927.
- DUFOUR, B.; MOUTOU, F.; HATTENBERGER, A.M.; RODHAIN, F. (2008): Global change: impact, management, risk approach and health measures – the case of Europe. – *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* **27**: 541–550.
- ECDC (2009): Development of *Aedes albopictus* risk maps. – Technical report: 1–52.
- ENSERINK, M. (2008): A mosquito goes global. – *Science* **320**: 864–866.
- FOPPA, I.M.; EVANS, C.L.; WOZNAK, A.; WILLS, W. (2007): Mosquito fauna and arbovirus surveillance in a coastal Mississippi community after Hurricane Katrina. *J. Am. Mosq. – Control Assoc.* **23**: 229–232.
- GINSBURG, J. (2004): Dinner, pets and plagues by the bucketful. – *The Scientist* **18**: 28. <http://www.the-scientist.com/2004/4/12/>.
- GOULD, E.A.; HIGGS, S. (2009): Impact of climate change and other factors on the emerging arbovirus diseases. – *Trans. Royal Soc. Trop. Med. Hyg.* **103**: 109–121.
- GOULD, E.A.; HIGGS, S.; BUCKLEY, A.; GRITSUN, T.S. (2006): Potential arbovirus emergence and implications for the United Kingdom. – *Emerg. Infect. Dis.* **12**: 549–555.
- GRATZ, N.G. (2004): Critical review of the vector status of *Aedes albopictus*. – *Med. Vet. Entomol.* **18**: 215–227.
- HARVELL, D.; ALTIZER, S.; CATTADORI, I.M.; HARRINGTON, L.; WEIL, E. (2009): Climate change and wildlife diseases: When does the host matter the most? – *Ecology* **90**: 912–920.
- HAWLEY, A.H. (1988): The biology of *Aedes albopictus*. – *J. Am. Mosq. Control. Assoc.* **6**: 310–311.
- HUBÁLEK, Z. (2008): Mosquito-borne viruses in Europe. – *Parasitol. Res.* **103** (Suppl 1): S29–S43.
- HUBÁLEK, Z.; HALOUZKA, J. (1996): Arthropod-borne viruses of vertebrates in Europe. – *Acta. Sc. Nat. Brno* **30**: 1–95.
- HUBÁLEK, Z.; HALOUZKA, J. (1999): West Nile fever – a reemerging mosquito-borne viral disease in Europe. – *Emerg. Infect. Dis.* **5**: 643–50.
- IPCC (Intergovernmental panel on climate change) (2007): Fourth Assessment Report: Climate Change 2007 (AR4). <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter10.pdf>
- JONES, K.E.; PATEL, N.G.; LEVY, M.A.; STOREYGARD, A.; BALK, D.; GITTELMAN, J.L.; DASZAK, P. (2008): Global trends in emerging infectious diseases. – *Nature* **451**: 990–993.
- KRÜGER, A. (2008): *Aedes*-Arten als Überträger von Arboviren. – In: LOZAN, J.L.; GRASSL, H.; JENDRITZKY, G.; KARBE, L.; REISE, K. (Hrsg.), *Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken für Menschen, Tiere und Pflanzen. – Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg*, 178–183.
- LAFFERTY, K.D. (2009): The ecology of climate change and infectious diseases. – *Ecology* **90**: 888–900.
- LANDESMAN, W.J.; ALLAN, B.F.; LANGERHANS, R.B.; KNIGHT, T.M.; CHASE, J.M.; (2007): Inter-annual associations between precipitation and human incidence of West Nile virus in the United States. – *Vector Borne Zoonotic Dis.* **7**: 337–343.
- LEHMAN, J.A.; HINCKLEY, A.F.; KRISTA, K.L.; NASCI, R.S.; SMITH, T.L.; CAMPBELL, G.L.; HAYES, E.B.; (2007): Effect of Hurricane Katrina on arboviral disease transmission. – *Emerg. Infect. Dis.* **13**: 1273–1275.
- 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.; PAULI, G. (2007): Serologic evidence of West Nile virus infections in wild birds captured in Germany. – *Am. J. Trop. Med. Hyg.* **77**: 358–364.
- LUMSDEN, L.L. (1958): St. Louis encephalitis in 1933. Observations on epidemiological features. – *Public Health Rep.* **73**: 340–353.
- LUNDSTÖM, J. (1994): Vector competence of Western European mosquitoes for arboviruses: a review of field and experimental studies. – *Bull. Soc. Vect. Ecol.* **19**: 23–26.
- LUNDSTÖM, J. (1999): Mosquito-borne viruses in Western Europe: A review. – *J. Vector Ecol.* **24**: 1–39.
- MEDLOCK, J.M.; SNOW, K.R.; LEACH, S. (2007): Possible ecology and epidemiology of medically important mosquito-borne arboviruses in Great Britain. – *Epidemiol. Infect.* **135**: 466–482.

- MEISTER, T.; LUSSY, H.; BAKONYI, T.; SIKUTOVA, S.; RUDOLF, I.; VOGL, W.; WINKLER, H.; FREY, H.; HUBALEK, Z.; NOWOTNY, N.; WEISSENBOCK, H. (2008): Serological evidence of continuing high Usutu virus (Flaviviridae) activity and establishment of herd immunity in wild birds in Austria. – *Vet. Microbiol.* **127**: 237–48.
- MODLMAIER, M.; KUHN, R.; KAADEN, O.R.; PFEFFER, M. (2002): Transmission studies of an European Sindbis virus in the floodwater mosquito *Aedes vexans* (Diptera: Culicidae). – *Int. J. Med. Microbiol.* **291** (Suppl 33): 164–170.
- OSTFELD, R.S. (2009): Climate change and the distribution and intensity of infectious diseases. – *Ecology* **90**: 903–905.
- PFEFFER, M.; DOBLER, G.; HASSLER, D.; LUNDSTRÖM, J.O. (2007): Ockelbo-Krankheit: Stechmücken-übertragene Polyarthritiden in Skandinavien. – *Dtsch. Med. Wochenschr.* **132**: 656–658.
- PILASKI, J.; MACKENSTEIN, H. (1985): Nachweis des Tahyna Virus in zwei verschiedenen europäischen Naturherden. – *Zbl. Bakt. Hyg. B* **180**: 394–420.
- REEVES, W.C. (1974): Overwintering of arboviruses. – *Prog. Med. Virol.* **17**: 193–236.
- REITER, P. (2001): Climate change and mosquito-borne diseases. – *Environ. Health. Perspect.* **109** (Suppl 1): 141–161.
- REITER, P. (2008): Climate change and mosquito-borne disease: knowing the horse before hitching the cart. – *Rev. Sci. Tech. Off. Int. Epiz.* **27**: 383–398.
- REZZA, G.; NICOLETTI, L.; ANGELINI, R.; ROMI, R.; FINARELLI, A.C.; PANNING, M.; CORDIOLI, P.; FORTUNA, C.; BOROS, S.; MAGURANO, F.; SILVI, G.; ANGELINI, P.; DOTTORI, M.; CIUFOLINI, M.G.; MAJORI, G.C.; CASSONE, A.; CHIKV STUDY GROUP (2007): Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region. – *Lancet* **370**: 1840–6.
- RUBEL, F.; BRUGGER, K.; HANTEL, M.; CHVALA-MANNBERGER, S.; BAKONYI, T.; WEISSENBOCK, H.; NOWOTNY, N. (2008): Explaining Usutu virus dynamics in Austria: Model development and calibration. – *Prev. Vet. Med.* **85**: 166–186.
- RUSSELL, R.C.; CLOONAN, M.J. (1989): Ross River virus activity on the south coast of New South Wales: vector studies. – In: UREN, M.F.; BLOK, J.; MANDERSON, L.H. (eds). *Arbovirus Research in Australia*. – Proc. 5th Symp. S. 20–23. Brisbane, Australia, 1989.
- SCHMIDT, O. (2004): Neue Tier- und Pflanzenarten – Bereicherung oder Bedrohung unserer Wälder? – *LWF aktuell* **45/2004**: 1–3.
- SCHOLTE, E.J.; JACOBS, F.; LINTON, Y.M.; DIJKSTRA, E.; FRANSEN, J.; TAKKEN, W. (2007): First Record of *Aedes (Stegomyia) albopictus* in the Netherlands. *Eur. Mosq. Bull.* **22**: 5–9.
- SCHÜSSLER, E. (2000): Tahyna Virus: Untersuchungen zum Vorkommen am Oberrhein und Sequenzvergleich des M-Segments bei 10 Virusisolaten. – Heidelberg, naturwissenschaftlich-mathematische Gesamtfak., Diss.
- SCOTT, T.W. (1988): Vertebrate host ecology. – In: Monath TP (ed). *The arboviruses: epidemiology and ecology*, Vol. I. S. 258–280. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- SPIECKERMANN, D.; ACKERMANN, R. (1972): Isolierung von Viren der California Enzephalitis Gruppe aus Stechmücken in Nordbayern. – *Zbl. Bakt. Hyg. A* **221**: 283–295.
- SUMILO, D.; ASOKLIENE, L.; BORMANE, A.; VASILENKO, V.; GOLOVLILOVA, I.; RANDOLPH, S.E. (2007): Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. – *PLoS One* **2**: e500.
- WEISSENBOCK, H.; KOLODZIEJEK, J.; URL, A.; LUSSY, H.; REBEL-BAUDER, B.; NOWOTNY, N. (2002): Emergence of Usutu virus, an African mosquito-borne flavivirus of the Japanese encephalitis virus group, central Europe. – *Emerg. Infect. Dis.* **8**: 652–656.
- WEISSENBOCK, H.; KOLODZIEJEK, J.; FRAGNER, K.; KUHN, R.; PFEFFER, M.; NOWOTNY, N. (2003): Usutu virus activity in Austria, 2001–2002. – *Microbes. Infect.* **5**: 1132–1136.
- WHO (2007): Actual outbreak informations. www.who.org.
- YANASE, T.; KATO, T.; YAMAKAWA, M.; TAKAYOSHI, K.; NAKAMURA, K.; KOKUBA, T.; TSUDA, T. (2006): Genetic characterisation of Batai virus indicates a genomic reassortment between orthobunyaviruses in nature. – *Arch. Virol.* **151**: 2253–2260.

Anschriften der Verfasser:

Dr. GERHARD DOBLER
 Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr
 Neuherbergstraße 11
 D-80937 München
 Tel. 03168-3974
 Fax 03168-3292
gerharddobler@bundeswehr.org

Dr. ROLAND KUHN
 Danziger Allee 61c
 D-65239 Hochheim
 Tel. 06146-3515
roku@uni-mainz.de

Prof. Dr. MARTIN PFEFFER
 Institut für Tierhygiene und
 Öffentliches Veterinärwesen
 An den Tierkliniken 1
 D-04103 Leipzig
 Tel. 0341-9738152
 Fax 0341-9738198
pfeffer@vetmed.uni-leipzig.de

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Beiträge zur Jagd- und Wildforschung](#)

Jahr/Year: 2009

Band/Volume: [34](#)

Autor(en)/Author(s): Pfeffer Martin, Kuhn Roland, Dobler Gerhard

Artikel/Article: [Einfluss des Klimas auf Vektor-übertragene Zoonosen 73-86](#)