Nationale Expertenkommission
STECHMÜCKEN

Integriertes Management von vektorkompetenten Stechmücken in Deutschland unter Berücksichtigung der Anwendung von Adultiziden

Handlungsempfehlungen für die Bekämpfung von Stechmücken zur Verhinderung der Ausbreitung von stechmückenassoziierten Infektionskrankheiten

1. Stechmücken

Stechmücken (Familie Culicidae) repräsentieren mit etwa 3500 Arten weltweit die wichtigsten medizinisch relevanten Arthropoden. Ihre Vektorkompetenz umfasst Viren, Protozoen und Nematoden.

In Deutschland kommen mindestens 52 Stechmückenarten vor, unter ihnen diverse Arten, die als Vektoren von human- und tierpathogenen Krankheitserregern gelten.

1.1 Stechmückenbiologie

Die Entwicklung aller Stechmücken ist an stehende Gewässer gebunden. Unter diesen existiert nahezu kein Habitattyp, der nicht von ihnen besiedelt wird. Je nach Stechmückenart werden sowohl temporäre Überschwemmungs- als auch permanente Gewässer, stark verschmutzte und saubere Wasseransammlungen sowie künstliche Gewässer unterschiedlichster Größendimensionen für die Reproduktion genutzt. Aus den im oder am Wasser abgelegten Eiern schlüpfen die Larven, die sich über insgesamt vier Larvenstadien und ein Puppenstadium zum adulten Tier entwickeln. Der Entwicklungszyklus wird stark von klimatischen Faktoren wie Temperatur und Niederschlag beeinflusst, so dass die Entwicklung je nach Stechmückenart bereits nach etwa einer Woche abgeschlossen sein, aber auch mehrere Wochen in Anspruch nehmen kann. Unter günstigen Bedingungen können sich bei einigen Arten innerhalb einer Stechmückensaison etwa sechs bis sieben Generationen entwickeln.

Sowohl die männlichen als auch die weiblichen Stechmücken ernähren sich von zuckerhaltigen Flüssigkeiten (z. B. Pflanzennektar), allerdings benötigen die Weibchen in der Regel eine Blutmahlzeit für die Eiproduktion. Die Übertragung von Pathogenen erfolgt daher nur durch die weiblichen Stechmücken.

Je nach Art haben die adulten Stechmücken unterschiedliche tageszeitliche Aktivitätsperioden. Während beispielsweise die einheimische Gemeine Hausmücke *Culex pipiens* dämmerungs- bzw. nachtaktiv ist, fliegt die eingewanderte Asiatische Tigermücke *Aedes albopictus* bevorzugt tagsüber. In der Zwischenzeit halten sich die Tiere an schattigen Ruheplätzen auf, wie in der Vegetation im Unterholz, in Baumhöhlen und in künstlichen Behältern, aber auch in Gebäuden (z. B. *Anopheles maculipennis*). Je nach Stechmückenart überwintern die Tiere als Embryonen in den Eiern (die meisten *Aedes*-Arten), als Larven (z. B. *Anopheles claviger* und *An. plumbeus*) oder als adulte Weibchen (die meisten *Anopheles*-, *Culex*-, *Culiseta*-, *Uranotaenia*-Arten).

Der Flugradius der einzelnen Stechmückenarten reicht von wenigen hundert Metern (z. B. *Ae. albopictus*, *Cx. pipiens*) bis zu mehreren Kilometern (z. B. *Ae. vexans*). Die Berücksichtigung sowohl des Brut- als auch des Flugverhaltens sowie der Tagesaktivität und der bevorzugten Ruheplätze der jeweiligen Stechmückenart spielt eine entscheidende Rolle im Hinblick auf eine erfolgreiche Kontrolle dieser Insekten.

Die wichtigsten Vektoren von Arboviren, wie *Ae. albopictus* (effiziente Übertragung von mindestens 20 Arboviren wie Dengue- (DENV), Zika- (ZIKV)- und Chikungunya-Viren (CHIKV), oder *Cx. pipiens* (Hauptüberträger des West-Nil-Virus (WNV)), brüten vorwiegend in künstlichen Wasseransammlungen im Siedlungsbereich. Dazu zählen u. a. Regenfässer und -tanks, Zisternen, Gullys, Eimer, Gießkannen, ungenutzte Vasen, Vogel- oder Igeltränken, verstopfte Regenrinnen und Abflüsse sowie kleine Gefäße oder unbenutzte Pools, in denen über mindestens acht bis zehn Tage Wasser steht. Die juvenilen Entwicklungsstadien von *Cx. pipiens* sind allerdings auch in kleineren bis mittelgroßen natürlichen Gewässern wie Tümpeln, Teichen und Überschwemmungsbereichen auf Wiesen zu finden.

1.2 Stechmücken als Vektoren von Krankheitserregern und die Konsequenzen ihrer weltweiten Ausbreitung

Stechmücken spielen nicht nur als Lästlinge, sondern auch als Überträger von Pathogenen insbesondere in tropischen und subtropischen, aber bedingt durch Globalisierung und klimatische Veränderungen auch zunehmend in gemäßigten Regionen eine bedeutende Rolle für die Gesundheit von Mensch und Tier. Trotz der Entwicklung von Vakzinen, Chemoprophylaxe und -therapie sowie neuerer Bekämpfungsstrategien ist keine der mit Stechmücken assoziierten Infektionskrankheiten unter Kontrolle.

Eine der bekanntesten unter diesen Infektionskrankheiten ist die Malaria, hervorgerufen durch Protozoen der Gattung *Plasmodium*, die mit jährlich weit mehr als 200 Millionen Infektionen bzw. mehreren Hunderttausend Todesfällen in etwa 100 tropischen und subtropischen Ländern auftritt. Im Gegensatz zu anderen Infektionskrankheiten verschwand die endemische Malaria bis nach dem 2. Weltkrieg vom europäischen Kontinent, und trotz des Vorhandenseins vektorkompetenter Stechmücken der Gattung *Anopheles* treten autochthone Infektionen nur noch sporadisch auf. Die Elimination der endemischen Malaria auf dem europäischen Kontinent wird zurückgeführt auf die Reduktion von Brutstätten für die übertragenden Stechmücken, das Fehlen der transovariellen Transmission des Parasiten im Stechmückenzyklus, die Entwicklung synthetischer Therapeutika, die Entdeckung der insektiziden Wirkung von DDT (heute in den meisten westlichen Industrieländern verboten) sowie verbesserte Lebensstandards.

Ein weiteres wichtiges Pathogen ist das Gelbfieber-Virus, das trotz Verfügbarkeit effektiver Vakzinen nach wie vor einen bedeutenden Auslöser einer hämorrhagischen Krankheit darstellt, aber heute ausschließlich in tropischen Gebieten Mittel- und Südamerikas sowie Afrikas auftritt. Andere Erkrankungen, die mit einer Reihe milder bis schwerer Symptome einhergehen und sogar zum Tod führen können, sind beispielsweise durch das DENV, das ZIKV und durch das CHIKV hervorgerufene Fieber.

Im Gegensatz zum Malaria-Parasiten findet bei vielen medizinisch relevanten Arboviren eine transovarielle Transmission im Stechmückenzyklus statt. Diese Eigenschaft begünstigt

die dauerhafte Ausbreitung von Arboviren. Traten Fälle von DENV- oder CHIKV-Infektionen ursprünglich im asiatischen bzw. afrikanischen Raum auf, so haben sich die Erreger mit Ende des 20. Jahrhunderts insbesondere auf dem südamerikanischen Kontinent etablieren können. Seit 2007 beobachtet man auch in Europa (Italien: 2007, 2017; Frankreich: 2010, 2014, 2017) kleinere und größere sporadische Ausbrüche des Chikungunya-Fiebers (ECDC 2022a). Auch autochthone DENV-Infektionen bzw. -Ausbrüche unterschiedlichen (meist kleineren) Ausmaßes traten in verschiedenen europäischen Ländern, insbesondere in Portugal/Madeira (2007) und Frankreich (2010, 2013, 2014, 2015, 2018, 2019, 2020, 2022) auf (ECDC 2022b).

Während in den meisten betroffenen Regionen der Welt die Gelbfiebermücke *Ae. aegypti* der primäre Vektor für DENV, ZIKV und CHIKV ist, ist auf dem europäischen Festland die Asiatische Tigermücke *Ae. albopictus* die übertragende Stechmückenart. Sie gehört zu den 100 bedeutendsten invasiven Spezies der Welt (Lowe et al. 2000) und breitet sich seit ihrem Nachweis Anfang der 1990er Jahre in Genua kontinuierlich in Europa aus. Mit zunehmender Verbreitung dieser exotischen Stechmücke ist auch mit einem vermehrten Auftreten von CHIKV-, ZIKV- und DENV-Übertragungen und entsprechenden Krankheitsausbrüchen zu rechnen.

Das WNV, welches zwischen Stechmücken und Vögeln zirkuliert und auch auf Menschen und Pferde übertragen werden kann, hat in den vergangenen Jahren durch seine fast flächendeckende Ausbreitung in den USA und Teilen Europas besondere Aufmerksamkeit erlangt. Das Virus wird primär durch einheimische *Culex*-Arten übertragen. Seit dem erstmaligen Nachweis des WNV im Jahr 2018 in einem Bartkauz treten in Deutschland immer wieder Fälle bei Vögeln, Pferden und beim Menschen auf. Mittlerweile ist das Virus in Deutschland endemisch. Eine WNV-Infektion verläuft bei den meisten Menschen asymptomatisch, etwa 20 % der Infizierten entwickeln jedoch eine fieberhafte, grippeähnliche Erkrankung. Etwa jede 100. infizierte Person erkrankt schwer an einer neuroinvasiven Form.

Auch das Sindbis- oder das Usutu-Virus (USUV), die in Deutschland aber nicht mit menschlichen Erkrankungen assoziiert sind, werden primär durch einheimische *Culex*-Arten übertragen. Insbesondere das erste massive Amselsterben im Spätsommer 2011 in Deutschland, ausgelöst durch das USUV, verdeutlicht das schnelle Ausbreitungspotential eines neuen Arbovirus, wenn es auf Populationen vektorkompetenter Stechmücken und naive Wirtstierpopulationen trifft.

2. Integriertes Stechmücken-Management

Die effektive Vorbeugung und Bekämpfung von stechmückenassoziierten Infektionskrankheiten im Sinne des One-Health Ansatzes erfordern ein integriertes Management der Stechmücken, das die Gesundheit von Mensch und Tier sowie Auswirkungen jeglicher Maßnahmen auf die Umwelt langfristig betrachtet und damit einen nachhaltigen Schutz bietet.

Neben verschiedenen Maßnahmen zur Verhinderung der Reproduktion der Stechmücken spielt hier auch der Einsatz von Bioziden eine tragende Rolle. Biozide zur Bekämpfung von

Stechmücken wirken entweder gegen die Entwicklungsstadien (Larvizide und Entwicklungshemmer) und können gezielt in den Brutstätten ausgebracht werden oder richten sich gegen die räumlich mobilen, erwachsenen Tiere (Adultizide).

Im Folgenden werden die wichtigsten Präventivmaßnahmen und Bekämpfungsmethoden dargestellt; für die konkrete Durchführung können Dokumente der World Health Organisation (WHO 2009), des European Center for Disease Prevention and Control (ECDC 2012, 2014) und der European Mosquito Control Association/WHO (EMCA/WHO 2013) herangezogen werden.

Sämtliche Maßnahmen zur Bekämpfung von Stechmücken sollten unter Angabe aller Details zur Art der Bekämpfung, Dosierung und Frequenz dokumentiert werden. Hilfreich für die Umsetzung der im Folgenden beschriebenen Maßnahmen könnte die Anwendung des § 17 Abs. 5 Infektionsschutzgesetz (IfSG) sein, der die Landesregierungen zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten zum Erlass von Rechtsverordnungen über die Feststellung und die Bekämpfung von Gesundheitsschädlingen ermächtigt. Diese Ermächtigung kann per Rechtsverordnung auf andere Stellen übertragen werden.

2.1 Einbeziehung der Bevölkerung bei der Bekämpfung von Container-brütenden Stechmücken

Die Einbeziehung der Bevölkerung bei der Durchführung von Maßnahmen zur Beseitigung von Brutstätten und dem Einsatz von Larviziden in Kleinstgewässern im Siedlungsbereich (s. Kapitel 2.3 und 2.4) hat eine sehr hohe Priorität. Die Sensibilisierung der Bevölkerung muss durch umfassende Aufklärungskampagnen zur Biologie der Stechmücken sowie einfache Maßnahmen zur Selbsthilfe, die die Beseitigung und Sanierung von Brutstätten, die Anwendung von Larviziden in künstlichen Brutstätten und den Selbstschutz betreffen, erfolgen.

Larvizide in Form leicht anwendbarer Sprudeltabletten können an die Haushalte verteilt oder an öffentlichen Stellen (z. B. Rathäusern) zur Verfügung gestellt werden.

Für die Unterstützung bei der Erfassung beispielsweise neuer Arten sollten Informationen zu kompetenten Stellen für die Stechmückenbestimmung (z.B. Mückenatlas Deutschland, KABS e.V.) oder anderen lokalen Einrichtungen (z.B. Landratsamt Rhein-Neckar-Kreis oder Serviceportal Baden-Württemberg) bereitgestellt werden (passives Monitoring).

Zu den Maßnahmen des Selbstschutzes gehören neben der Sanierung von potenziellen Brutplätzen die Installation von Insektengittern vor Fenster und Türen und ggf. der Gebrauch von Mückennetzen beim Schlafen. Darüber hinaus wird das Tragen langer Kleidung und bei Bedarf die Verwendung von Repellentien empfohlen. In Deutschland zugelassene Produkte können auf der Internetseite der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA) abgerufen werden. Ziel der Öffentlichkeitsarbeit muss sein, die Bevölkerung vom Beobachten zum Agieren zu animieren.

2.2 Surveillance- und Monitoring-Programme

Alle Bekämpfungsmaßnahmen müssen in ein umfassendes Surveillance- und Monitoringprogramm eingebettet sein, das von Fachleuten implementiert und überwacht wird. Die

Ergebnisse des Monitorings sind wichtige Kriterien für das weitere Vorgehen zur Bekämpfung von vektorassoziierten Infektionskrankheiten bzw. zur Reduktion oder sogar Tilgung einer Vektorpopulation.

Die vorhandenen Surveillance-Systeme für Arbovirus-Infektionen beim Menschen sowie bei Vögeln und Pferden liefern wichtige Anhaltspunkte für die Situationsbeurteilung im Sinne von Handlungsempfehlungen. Menschliche Infektionen mit Arboviren müssen grundsätzlich namentlich an die zuständigen Gesundheitsämter für Labore gemäß § 7 IfSG gemeldet werden. Die Gesundheitsämter ermitteln dann den Fall weiter und können so beurteilen, ob die Infektion ggf. autochthon erworben wurde bzw. ob ein virämischer Patient zeitlich und räumlich betrachtet eine Virusquelle für lokale Stechmücken darstellen kann. Die Gesundheitsämter übermitteln die Fälle nichtnamentlich weiter an das Robert-Koch Institut (RKI). Dieses veröffentlicht die bestätigten Fälle auf Bundesebene und gibt die Daten auch an die EU-Gesundheitsbehörde (ECDC) weiter, welches z. B. regelmäßig Karten zum Auftreten von WNV-Infektionen in Europa herausgibt (ECDC 2022c).

Vor allem die Daten aus dem WNV-Monitoring bei Vögeln und Pferden zeigen zuverlässig die regionale Situation bezüglich des WNV-Vorkommens. Sie sind über das Portal des Tierseucheninformationssystem (TSIS) des Friedrich-Loeffler-Instituts (FLI) und regelmäßige Veröffentlichungen des FLI sowie im Journal ‚Lab-Loeffler' des FLI einzusehen.

In Bezug auf das Monitoring von Stechmücken wird unterschieden zwischen dem „aktiven" und dem „passiven" Monitoring. Beim passiven Monitoring wird die Bevölkerung in das Erfassen der Stechmücken, z. B. das Auftreten von Tigermücken in einem Gebiet, mit einbezogen (s. Kapitel 2.1). Das Monitoring kann als „Frühwarnsystem" für das Auftreten neuer Arten dienen.

Beim aktiven Monitoring werden mit speziellen Fangmethoden die Verbreitung, Abundanz und Phänologie von Stechmückenarten und -populationen bestimmt. Dazu stehen unterschiedliche Fallensysteme zur Verfügung (s. Kapitel 2.2.1).

Die Durchführung des Monitorings dient zwei Zwecken:

- Überprüfung des Auftretens von Vektorarten in einem Gebiet
- Überprüfung der Entwicklung einer existierenden Population im Rahmen von Bekämpfungsmaßnahmen

Letzteres stellt auch ein Qualitätskriterium für den Erfolg der Bekämpfungsmaßnahmen dar.

Im Falle eines Krankheitsausbruchs bzw. an Orten bekannter Erregerübertragung (s. Tabellen 1 und 2) sollte darüber hinaus ein Virusnachweis in den Stechmücken geführt werden, so dass das Ausmaß der Erregerzirkulation messbar ist.

2.2.1 Fallen

Das aktive Monitoring kann auf die Eier, die Entwicklungsstadien (Larven) oder die adulten Stechmücken abzielen.

Mit Hilfe sog. Eiablagefallen werden gravide weibliche Stechmücken angelockt, welche in diesen ihre Eier ablegen sollen. Die Eier können bis zum Schlupf der Larven kultiviert und

diese für die Artbestimmung genutzt werden. Andere Eiablagefallen bieten die Möglichkeit, die adulten Weibchen abzutöten oder abgegebenen Speichel zu sammeln, welcher wiederum auf Viren untersucht werden kann.

Adultfallen hingegen werden zum Fang fliegender Stechmückenstadien eingesetzt. Als Attraktanzien dienen beispielsweise CO_2 oder andere Lockstoffe (z. B. Inhaltsstoffe des Schweißes). Die gefangenen Stechmücken werden in der Falle abgetötet; eine Eiablage findet hier nicht statt.

Sowohl die Anzahl der abgelegten Eier (Eiablagefallen) als auch die der gefangenen Stechmücken (Adultfallen) können Aufschluss über die Stechmückendichte in einem Gebiet geben. Darüber hinaus ermöglichen beide Fallenarten eine Artbestimmung entweder anhand morphologischer Merkmale oder mittels molekulargenetischer Methoden.
Details zu unterschiedlichen Stechmückenfallen und ihrer Anwendung können verschiedenen Dokumenten des ECDC (ECDC 2012, 2014, 2018) entnommen werden.

2.3 Präventivmaßnahmen

Die Beseitigung von Brutstätten ist ein wesentlicher Bestandteil eines Stechmückenmanagements, mit denen die Reproduktion der Stechmücken entscheidend reduziert werden kann. Zu diesen Maßnahmen, die insbesondere auf die in Containern brütenden und hier relevanten Stechmückenarten wie *Ae. albopictus, Cx. pipiens* und *Cx. torrentium* abzielen, gehören zum einen die Beseitigung aller unnötigen potenziellen Brutstätten (z. B. ungenutzte Blumenvasen oder andere Behälter, in denen sich Wasser ansammeln kann) und zum anderen die Sanierung von wasserführenden und -vorhaltenden Konstruktionen (z. B. Abdecken von Regentonnen, regelmäßige Reinigung von Regenrinnen u. ä.).

Die Aufklärung und Beteiligung der Öffentlichkeit spielen bei der Umsetzung dieser Maßnahmen eine wesentliche Rolle (s. Kapitel 2.1). Die Vermeidung von Brutstätten bzw. deren Beseitigung als wirksame Methode zur Reduktion von Stechmückenpopulationen gilt gleichermaßen für den privaten wie für den gewerblichen Bereich.

2.4 Mikrobiologische Methoden

Mikrobielle Bekämpfungsmittel enthalten als Wirkstoffe stechmückenabtötende Eiweiße, die von zwei sporenbildenden Bakterien, *Bacillus thuringiensis israelensis* (*B.t.i.*) und *Lysinibacillus sphaericus* (*L. sph.*) während der Sporulation gebildet werden. Die Eiweiße zeigen eine hochwirksame und selektive Aktivität gegen Dipteren (Silva-Filha et al. 2021), wirken ausschließlich gegen die Larvenstadien und müssen somit in die Brutstätten (Wasser) appliziert werden. Diese Bekämpfungsmaßnahme kommt zum Zuge, wenn Maßnahmen wie Brutstättenbeseitigung und -sanierung (s. Kapitel 2.3) nicht umgesetzt werden können. Für den Gebrauch durch die Bevölkerung als Selbsthilfe sind insbesondere larvizide *B.t.i.*-Tabletten geeignet. Weiterhin stehen Flüssig- und Puderformulierungen für die Ausbringung von Suspensionen mit Hand- und Rückenspritzen durch den professionellen Anwender zur Verfügung. Entsprechende Produkte für diese Anwendungen sind in Deutschland zugelassen und können in der Datenbank der BAuA abgerufen werden.

Da beim Einsatz dieser mikrobiellen Bekämpfungsmittel auch die Larven anderer Dipteren in Mitleidenschaft gezogen werden können, muss ihr Einsatz in natürlichen Gewässern sorgfältig abgewogen werden. Bei Applikation in künstlichen Brutstätten im Siedlungsbereich, d. h. gegen Container-brütende Stechmückenarten, sind Auswirkungen auf die Biodiversität nicht zu erwarten.

2.5 Biochemische Methoden

Biochemische Methoden greifen in die natürlichen biologischen Prozesse von Organismen ein und verhindern damit deren Entwicklung zum reproduktionsfähigen adulten Tier. Der Wirkstoff S-Methopren ist ein Insektenwachstumsregulator, ein juveniles Hormonanalogon, das die Metamorphose zum adulten Insekt stört und, wie die mikrobiellen Produkte, in nicht zu beseitigende Brutstätten der Stechmücken appliziert werden kann. Es wirkt nicht spezifisch gegen Mückenlarven und kann deshalb ebenfalls negative Auswirkungen auf andere Organismen haben. In Deutschland zugelassene Produkte können in der Datenbank BAuA abgerufen werden.

2.6 Weitere Bekämpfungsmethoden

Es sind weitere Methoden zur Stechmückenbekämpfung beschrieben, die sich teilweise in der Entwicklung befinden oder auch lokal bereits angewendet werden. Diese bedienen sich Produkten, die zum jetzigen Zeitpunkt in Deutschland nicht käuflich erworben werden können, aber im Rahmen von wissenschaftlichen Arbeiten eingesetzt werden. Im Folgenden werden einige dieser Methoden beispielhaft dargestellt.

Versuche mit Einsatz des Gram-negativen Bakteriums *Wolbachia* als Endosymbiont von Insekten zeigen Erfolge bei der Reduktion von Stechmückenpopulationen sowie der Reduktion der Virus-Übertragung durch Stechmücken. Die Infektion von männlichen Stechmücken mit Wolbachien führt zu einer Paarungsunverträglichkeit mit weiblichen Stechmücken, die natürlicherweise nicht oder mit einem anderen *Wolbachia*-Stamm infiziert sind (Cytoplasmatische Inkompatibilität), so dass Nachwuchs ausbleibt. Lässt man hingegen mit Wolbachien infizierte Stechmückenweibchen frei, wird die Stechmückenpopulation nach und nach mit dem betreffenden *Wolbachia*-Stamm durchseucht. Eine Infektion der Gelbfiebermücke *Ae. aegypti* mit dem wMel-Stamm von *W. pipientis* führt außerdem z. B. zu einer signifikanten Abnahme der Vektorkompetenz für das DENV (Utarini et al. 2021).

Seit einigen Jahren wird auch in Deutschland im Kampf gegen *Ae. albopictus* die Sterile Insekten Technik (SIT) eingesetzt. Dabei werden in männlichen Puppenstadien die reproduktiven Zelllinien (Sperma) durch Gammastrahlung so geschädigt, dass die geschlüpften adulten Männchen steril sind und keine Nachkommen produzieren können. Werden ausreichend große Mengen steriler Männchen freigelassen, kann dies zu einem Zusammenbruch der Population führen. Die Anwendung der SIT-Methode ist geeignet in Gebieten, in denen *B.t.i.* auf Grund des Vorhandenseins kryptischer Brutstätten oder vieler unzugänglicher Grundstücke nicht ausreichend ausgebracht werden kann (Becker et al. 2022).

Auch der Einsatz natürlicher Fressfeinde der Stechmücken, wie z. B. des Copepoden *Megacyclops* ssp., ist beschrieben. Sie können in Brutgewässern in Verbindung mit *B.t.i.*-Behandlungen Stechmückenpopulationen nachhaltig reduzieren: Durch die Applikation von *B.t.i.*-Präparaten wird zunächst die aktuelle Larvenpopulation in den Regenfässern oder anderen Massenbrutplätzen abgetötet, danach vertilgen die in ausreichender Menge eingesetzten Copepoden neu geschlüpfte Erstlarven (Baldacchino et al. 2015).

2.7 Adultizide

Adultizide zur Stechmückenbekämpfung werden entweder über Niedervolumensprays (LV) auf Oberflächen im Allgemeinen oder über die Ultra Low Volume (ULV)-Technologie in die Luft ausgebracht. Der Vorteil der ULV- gegenüber der LV-Technologie liegt darin, dass im Verhältnis zur Größe der behandelten Fläche eine viel geringere Menge des Wirkstoffs ausgebracht werden muss. Bei der ULV-Applikation werden mit Kalt- oder Thermalnebelgeräten kleinste Aerosole (Tröpfchengröße < 50 µm Durchmesser) erzeugt, die in der Luft verbleiben und die fliegenden Mücken bei Kontakt abtöten (Bonds 2012). Die Applikation erfolgt vom Boden aus durch tragbare bzw. mit auf Fahrzeugen montierte Nebelgeräte. Für großflächige Ausbringungen kann eine Anwendung auch aus der Luft erfolgen. Der Zeitpunkt der Ausbringung muss optimal gewählt werden. So sind Anwendungen an kühlen (< 10 °C), regenfreien Zeiten vor dem Sonnenauf- und nach dem Sonnenuntergang bei schwachem Wind zu empfehlen, wenn die Stechmücken bereits aktiv sind. Des Weiteren wird die Wirksamkeit beeinflusst durch die Tröpfchengröße, die Verteilung des Insektizids und den Habitattyp (Vegetationsdecke, offene oder abgeschlossene Standorte) (Baldacchino et al. 2015). Die Anzahl und der Abstand der Anwendungen kann je nach Risikobewertung (Vektordichte, Erregerzirkulation) variieren.

Für eine Bekämpfung adulter Stechmücken werden in Europa vorwiegend Pyrethrine und Produkte mit Wirkstoffen aus der Klasse der Pyrethroide eingesetzt. Dies sind in der Regel Deltamethrin, Permethrin und α-Cypermethrin, manchmal in Kombination mit dem Synergisten Piperonylbutoxid (Scholte et al. 2010, Flacio et al. 2015, Pichler et al. 2018, pers. Mitt. S. Mourelatos, Ecodevelopment S.A., Griechenland).

Zum jetzigen Zeitpunkt ist in Deutschland kein Produkt zur Stechmückenbekämpfung im Freiland nach Biozid-Verordnung (EU) Nr. 528/2012 zugelassen. Auch gemäß § 18 IfSG ist aktuell kein Produkt gegen Stechmücken zur Anwendung im Freien anerkannt (Umweltbundesamt). Für zulassungspflichtige Produkte kann eine Ausnahmeregelung nach Artikel 55 (1) der Verordnung beantragt werden, wenn dies aufgrund einer Gefahr für die öffentliche Gesundheit, die Tiergesundheit oder die Umwelt notwendig ist, die mit anderen Mitteln nicht eingedämmt werden kann. Nach dieser Regelung können Biozide für einen vorübergehenden Zeitraum von 180 Tagen zugelassen und eingesetzt werden. Die Antragstellung und Bewilligung einer vorübergehenden Zulassung kann jedoch im Falle eines akuten vektorassoziierten Krankheitsausbruchs wertvolle Zeit kosten und ist daher nicht zielführend.

Adultizide, die Wirkstoffe enthalten, die noch unter die Übergangsvorschriften der Biozid-Verordnung fallen, sind noch nicht zulassungspflichtig. Sie müssen nur registriert werden und dürfen dann ohne Prüfung auf ihre Wirksamkeit oder mögliche Risiken eingesetzt

werden. Diese Übergangszeit endet, wenn die in den Produkten enthaltenen bioziden Wirkstoffe nicht mehr unter die Übergangsvorschriften fallen. Mehr Informationen sind zu finden auf der Webseite der BAuA.

Allen chemischen Adultiziden ist gemeinsam, dass sie nicht selektiv wirken und die Anwendung daher schädliche Auswirkungen auf Nichtzielorganismen hat. Insbesondere bei großflächigen umweltoffenen Applikationen ist von negativen Auswirkungen auf die Biodiversität auszugehen. Darüber hinaus können sich in den Organismen innerhalb weniger Generationen Resistenzen gegen die Wirkstoffe entwickeln.

Für die Bekämpfung von Stechmücken mit Adultiziden ist grundsätzlich neben der genauen Identifizierung der übertragenden Stechmückenart und die Kenntnis ihrer Biologie auch die Berücksichtigung entsprechender Umgebungs- und Umweltfaktoren unerlässlich.

2.7.1 Resistenzmonitoring

Auf Grund der schnellen Entwicklung von Insektizidresistenzen in Stechmücken müssen Bekämpfungsmaßnahmen unter Verwendung von Adultiziden von einem Resistenzmonitoring begleitet werden. Die Durchführung entsprechender Tests wird beispielsweise von der WHO (2016a, b) beschrieben.

2.7.2 Schutz der Bevölkerung

Die Bevölkerung muss über die Durchführung der Bekämpfungsmaßnahme und mögliche Risiken informiert und dazu angehalten werden, während der Ausbringung der Adultizide Fenster und Türen zu schließen und einen Aufenthalt im Freien für die angegebene Zeit zu vermeiden.

3. Risikobewertung und Handlungsempfehlungen zum Management stechmückenassoziierter Erregerübertragung

Im Folgenden werden Kriterien für das Management der Stechmücken in unterschiedlichen Risikokategorien definiert sowie Handlungsempfehlungen gegeben.

Der Einsatz von Adultiziden kann mit einer bedeutenden schädlichen Wirkung auf die Umwelt einhergehen. Daher sollte er ausschließlich in Situationen autochthoner Infektionen bzw. der begründeten Gefahr einer autochthonen Infektion in Erwägung gezogen werden. Die Stichbelästigung durch Stechmücken oder das Auftreten importierter Krankheitsfälle allein rechtfertigen den Einsatz von Adultiziden im Freiland nicht. Denkbar wäre die Bekämpfung der Vektoren mittels Adultiziden bei Auftreten von autochthonen Übertragungen des WNV, des DENV, des CHIKV und des ZIKV, um schnell das Risiko weiterer Übertragungen durch infizierte weibliche Stechmücken zu reduzieren. Unter bestimmten Umständen kann auch in Situationen importierter Krankheitsfälle, z. B. einer ZIKV-Infektion in ein Gebiet mit einer etablierten *Ae. albopictus*-Population, der Einsatz von Adultiziden sinnvoll sein.

Die jeweilige Situation muss immer im Hinblick auf den Etablierungsstatus des jeweiligen Erregers und der entsprechenden Vektoren differenziert betrachtet werden: nicht in

jedem Fall ist der Einsatz von Adultiziden sinnvoll. Maßnahmen zur Vermeidung von Brutstätten und die Bekämpfung der Larvenstadien (s. Kapitel 2.3 und 2.4) müssen immer erste Priorität haben.

3.1 WNV

Das regelmäßige Auftreten von WNV-Erkrankungsfällen in den letzten Jahren zeigt eine Etablierung des Virus in Teilen von Deutschland. Derzeit werden nur vereinzelte Fälle bzw. Infektionen an das Robert Koch-Institut (RKI) gemeldet, aber auf Grund der Tatsache, dass nur ein geringer Prozentsatz der WNV-Infektionen klinisch schwerwiegend verläuft, ist von einer hohen Dunkelziffer auszugehen. Zukünftig ist eine weitere Ausbreitung von WNV-Erkrankungsfällen möglich.

Eine technischer Bericht des European Center for Disease Prevention and Control (ECDC 2020) kommt zu dem Schluss, dass die Bekämpfung von adulten Stechmücken mittels ULV aus der Luft (s. Kapitel 2.7) aktuell die einzige Methode ist, die unmittelbar zu einer Reduktion der WNV-Zirkulation in Stechmücken und Wirbeltieren, einer Unterbrechung der enzootischen Amplifikation in natürlichen Feuchtgebieten sowie der WNV-Transmission im urbanen Bereich und damit der Reduktion menschlicher Infektionsfälle führt.

Eine Anwendung von Adultiziden als Maßnahme gegen das Auftreten von WNV-Infektionen wird in Deutschland zum jetzigen Zeitpunkt auf Grund der geringen Zahl an Erkrankungsfällen nicht für sinnvoll erachtet. Diese käme allenfalls in Betracht, wenn die Wahrscheinlichkeit eines bedeutsamen Krankheitsausbruchs als mindestens „hoch“ eingestuft wird bzw. ein Ausbruch stattfindet (s. Tabelle 1).

Tabelle 1: Handlungsempfehlungen für die Verhinderung der Ausbreitung autochthoner WNV-Infektionen beim Menschen in Deutschland

Risiko-kategorie	Status	Wahrscheinlichkeit eines bedeutsamen Krankheitsausbruchs	Handlungsempfehlung
0	keine aktuellen oder zurückliegenden* regionalen** WNV-Nachweise in Stechmücken oder keine autochthonen Infektionen bei Vögeln, Pferden oder Menschen	sehr gering	keine, allenfalls allgemeine Informationen über WNV
1	einzelne aktuelle oder zurückliegende* regionale** WNV-Nachweise in Stechmücken oder einzelne autochthone Infektionen bei Vögeln, Pferden oder Menschen	gering bis mittel	- ggf. Stechmücken- und Virusmonitoring - spezifische Information der Öffentlichkeit zur Aufklärung und Ergreifung von Maßnahmen zum persönlichen Schutz und zur Vermeidung von Brutstätten - Brutstättenbeseitigung bzw. Einsatz von Larviziden
2a	vermehrte zurückliegende* regionale** WNV-Nachweise in Stechmücken oder vermehrte autochthone Infektionen bei Vögeln, Pferden oder Menschen	mittel	- gegenseitige Information von Gesundheits- und Veterinärämtern über Infektionsfälle - Ausweitung der Maßnahmen aus Kategorie 1
2b	vermehrte aktuelle regionale** WNV-Nachweise in Stechmücken oder vermehrte autochthone Infektionen bei Vögeln, Pferden oder Menschen	hoch	- Ausweitung der Maßnahmen aus Kategorie 1 -bei andauernder Stechmückenaktivität ggf. Einsatz von Adultiziden
3	viele aktuelle regionale** humane Fälle, ggf. auch Nachweis erhöhter Virusaktivität in Stechmücken und viele Fälle bei Vögeln und Pferden	Ausbruch gegeben	- Ausweitung der Maßnahmen aus Kategorie 2b - bei andauernder Stechmückenaktivität Einsatz von Adultiziden

*z. B. in den Vorjahren; **umfasst z. B. auch benachbarte Landkreise bzw. kreisfreie Städte

3.2 CHIKV, DENV und ZIKV

Neben dem WNV, das sich bereits in Deutschland etabliert hat, werden regelmäßig weitere mit Stechmücken assoziierte Erreger, wie die des Chikungunya-, Dengue- und Zikafiebers (CHIKV, DENV und ZIKV), durch Reiserückkehrer nach Deutschland importiert (Infektionsepidemiologische Jahrbücher des RKI), für die bislang in Deutschland noch keine autochthonen Übertragungen nachgewiesen sind. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass es bei Vorhandensein einer ausreichend hohen Vektorpopulationsdichte und zunehmend günstigen Bedingungen (Klima und Bevölkerungsdichte) zu einem Krankheitsausbruch kommen könnte.

Da der Nachweis von DENV, CHIKV und ZIKV in den Vektoren vor dem Nachweis im Menschen äußerst unwahrscheinlich ist und darüber hinaus im Gegensatz zu WNV der Mensch hier Infektionsquelle ist, ist eine Bewertung der Situation anders vorzunehmen als bei WNV. Ein Krankheitsausbruch wird definiert als eine Erhöhung der Anzahl von Personen mit einer bestimmten Infektionskrankheit in einer bestimmten Region und/oder einem bestimmten Zeitraum gegenüber der erwarteten Anzahl dieser Erkrankungen. Auch aus diesem Grund ist unter differenzierter Berücksichtigung der epidemiologischen und lokalen Situation schon bei Nachweis eines einzelnen autochthonen Infektionsfalls in Deutschland die Anwendung von Adultiziden bei anhaltender Stechmückenaktivität abzuwägen (s. Tabelle 2). Voraussetzung ist, dass der labordiagnostische Nachweis der Infektion belastbar ist, was z. B. bei einzelnen serologischen Nachweisen von DENV-IgM nicht zutrifft. Aus diesem Grund muss ggf. frühzeitig eine Bestätigungsdiagnostik eingeleitet werden.

Die Anwendung von Adultiziden kann auch bei Vorliegen eines importierten Infektionsfalls sinnvoll sein, wenn nach Infektion, aber vor Diagnosestellung, ein Aufenthalt an Orten mit etablierter *Ae. albopictus*-Population in Deutschland stattgefunden hat (s. Tabelle 2, Kategorie 1). Eine Risikobewertung muss in einem solchen Fall individuell vorgenommen werden.

Tabelle 2: Handlungsempfehlungen für die Verhinderung autochthoner Infektionen mit CHIKV, DENV und ZIKV beim Menschen in Deutschland

Risiko-kategorie	**Etablierte Population von *Ae. albopictus***	**Infektionsfall**	**Handlungsempfehlung**
0a	unbekannt	ja/nein	- Überprüfung auf regionales Vorkommen von *Ae. albopictus* mit Hilfe von Verbreitungskarten (z. B. Nationale Expertenkommission „Stechmücken als Überträger von Krankheitserregern“ am FLI) oder durch Informationen von Experten vor Ort - ggf. Erstellung von Handlungsempfehlungen für den Umgang mit *Ae. albopictus*
0b	ja	nein	- Erstellung von Handlungsempfehlungen für den Umgang mit *Ae. albopictus* und dem Auftreten reiseassoziierter Infektionen in der relevanten Saison - Brutstättenbeseitigung, Bekämpfung von *Ae. albopictus* mit Hilfe von Larviziden
1	ja	ja, Infektionsort unklar	- Reiseanamnese - Stechmückenmonitoring - Brutstättenbeseitigung bzw. Einsatz von Larviziden - Information der Öffentlichkeit zur Ergreifung von Maßnahmen zum persönlichen Schutz und zur Vermeidung von Brutstätten bei reiseassoziierten Fällen: - ggf. verstärkte Maßnahmen im Umfeld inkl. Mückenschutz für die infizierte Person - ggf. Einsatz von Adultiziden bei anhaltender Stechmückenaktivität
2	ja	ja, autochthon	- ggf. Reiseanamnese innerhalb Deutschlands - Ausweitung der Maßnahmen aus Kategorie 1 - Virusmonitoring - Einsatz von Adultiziden bei anhaltender Stechmückenaktivität

Situationen, in denen bekanntermaßen keine etablierten *Ae. albopictus*-Populationen auftreten, sind hier nicht berücksichtigt, da in solchen Fällen mit keiner Erregerübertragung zu rechnen ist. Sollten einzelne Nachweise von *Ae. albopictus* lokal vorliegen, sollten immer Handlungsempfehlungen zum Umgang mit dieser Stechmückenart gegeben werden.

4. Literatur

Baldacchino F, Caputo B, Chandre F, Drago A, della Torre A, Montarsi F, Rizzoli A (2015): Control methods against *Aedes* mosquitoes in Europe: a review. Pest Manag Sci 71, 1471-1485.

Becker N, Langentepe-Kong SM, Rodriguez AT, Oo TT, Reichle D, Lühken R, Schmidt-Chanasit J, Lüthy P, Puggioli A, Bellini R (2022): Integrated control of *Aedes albopictus* in Southwest Germany supported by the Sterile Insect Technique. Parasit Vectors 15, 9.

Bonds JAS (2012): Ultra-low-volume space sprays in mosquito control: a critical review. Med Vet Entomol 26, 121-130.

ECDC (2012): Guidelines for the surveillance of native mosquitoes in Europe. Technical Report, Stockholm.

ECDC (2014): Guidelines for the surveillance of invasive mosquitoes in Europe. Technical Report, Stockholm.

ECDC (2018): Field Sampling methods for mosquitoes, sandflies, biting midges and ticks. Technical Report, Stockholm.

ECDC (2020): Vector control practices and strategies against West Nile virus. Technical Report, Stockholm.

ECDC (2022a): Autochthonous transmission of chikungunya virus in mainland EU/EEA, 2007-present. Autochthonous transmission of chikungunya virus in mainland EU/EEA, 2007–present (europa.eu), abgerufen am 05.10.2022.

ECDC (2022b): Autochthonous transmission of dengue virus in mainland EU/EEA, 2010-present. Autochthonous transmission of dengue virus in mainland EU/EEA, 2010–present (europa.eu), abgerufen am 05.10.2022.

ECDC (2022c): Weekly updates: 2022 West Nile virus transmission season. Weekly updates: 2021 West Nile virus transmission season (europa.eu), abgerufen am 05.10.2022.

EMCA/WHO (2013): Guidelines for the control of mosquitoes of public health importance in Europe (PDF), abgerufen am 05.10.2022.

Flacio E, Engeler L, Tonolla M, Lüthy P, Patocchi N (2015): Strategies of a thirteen year surveillance programme on *Aedes albopictus* (*Stegomyia albopicta*) in southern Switzerland. Parasit Vectors 9, 208.

Lowe S, Browne M, Boudjelas S, De Poorter M (2000): 100 of the World's Worst Invasive Alien Species (PDF). A selection from the Global Invasive Species Database. Published by The Invasive Species Specials Group (ISSG), a specialist group of the Species Survival Commission (SSC) of the World Conversation Union (IUCN), 12 pp., abgerufen am 05.10.2022.

Pichler V, Bellini R, Veronesi R, Arnoldi D, Rizzoli A, Lia RP, Otranto D, Montarsi F, Carlin S, Ballardini M, Antognini E, Salvemini M, Brianti E, Gaglio G, Manica M, Cobre P, Serini P, Velo E, Vontas J, Kioulos I, Pinto J, della Torre A, Caputo B (2017): First evidence of resistance to pyrethroid insecticides in Italian *Aedes albopictus* populations 26 years after invasion. Pest Manag Sci 74, 1319-1327.

Scholte EJ, Den Hartog W, Dik M, Schoelitz B, Brooks M, Schaffner F, Foussadier R, Braks M, Beeuwkes J (2010): Introduction and control of three invasive mosquito species in the Netherlands, July-October 2010. Euro Surveill 15, 19710.

Silva-Filha MHNL, Romão TP, Rezende TMT, da Silva Carvalho K, Couveia de Menezes HS, do Nascimiento NA, Sobéron M, Bravo A (2021): Bacterial toxins active against mosquitoes: mode of action and resistance. Toxins 13, 523.

Utarini A, Indriani C, Ahmad RA, Tantowijoyo W, Arguni E, Ansari MR, Supriyati E, Wardana DS, Meitika Y, Ernesia I, Nurhayati I, Prabowo E, Andari B, Green BR, Hodgson L, Cutcher Z, Rancès E, Ryan PA, O´Neill SL, Dufault SM, Tanamas SK, Jewell NP, Anders KL, Sommins CP (2021): Efficacy of *Wolbachia*-infected mosquito deployments for the control of dengue. N Engl J Med 10, 2177-2186.

WHO (2009): Dengue guidelines for diagnosis, treatment, prevention and control: new edition. World Health Organization, Genf., abgerufen am 05.10.2022.

WHO (2016a): Monitoring and managing insecticide resistance in Aedes mosquito populations: interim guidance for entomologists. World Health Organization, Genf., abgerufen am 05.10.2022.

WHO (2016b): Test procedures for insecticide resistance monitoring in malaria vector mosquitoes, 2nd ed. World Health Organization, Genf, abgerufen am 05.10.2022.

5. Glossar

Abundanz
hier: Anzahl von Individuen je Flächeneinheit

Adultizid
hier: Produkt/Wirkstoff zur Abtötung der ausgewachsenen Stechmücken

Aerosol
Mischungen von festen oder flüssigen Partikeln in einem Gas oder Gasgemisch

Arbovirus
arthropod-borne virus, durch Arthropoden übertragenes Virus

Arthropode
Gliedertier (z.B. Insekten und Spinnentiere)

Attraktanz
Lockmittel

autochthon
hier: vor Ort erworben

Biozid
Produkt oder Wirkstoff, das/der dazu bestimmt ist, auf andere Art als durch bloße physikalische oder mechanische Einwirkung Schadorganismen zu zerstören, abzuschrecken, unschädlich zu machen, ihre Wirkung zu verhindern oder sie in anderer Weise zu bekämpfen

Copepode
Ruderfußkrebs

gravide
hier: Eier tragend, bereit zur Eiablage

hämorrhagisch
Blutungen auslösend

IgM
Antikörper vom Typ Immunglobulin-M

Larvizid
hier: Produkt/Wirkstoff zur Abtötung von Larvenstadien der Stechmücken

Pathogen
Krankheitserreger

Phänologie
im Jahresablauf periodisch wiederkehrende Wachstums- und Entwicklungserscheinungen von Tieren und Pflanzen

transovarielle Transmission
Übertragung von Krankheitserregern auf die Nachkommenschaft

Vektor
hier: lebender Organismus, der Krankheitserreger von einem infizierten Tier/Menschen auf ein anderes Tier oder Menschen überträgt

Nationale Expertenkommission „Stechmücken als Überträger von Krankheitserregern“
am Friedrich-Loeffler-Institut,
Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit

Südufer 10
D-17493 Greifswald – Insel Riems

Leiter der Geschäftsstelle
PD Dr. Helge Kampen
Telefon +49 (0) 38351 7-1245
Telefax +49 (0) 38351 7-1226

E-Mail: Helge.Kampen@fli.de

Foto/Quelle: Dr. Guido Bohne, Berlin, Germany, CC BY SA 2.0, via Wikimedia Commons