

### 3.2.3 Bedeutung der Klimafaktoren für die Ausbreitung und Übertragung von Arbovirus-Infektionen

GERHARD DOBLER & MARTIN PFEFFER

#### **Bedeutung der Klimafaktoren für die Ausbreitung und Übertragung von Arbovirus-Infektionen:**

*Der Begriff »Arbovirus« ist ein ökologisch definierter Begriff. Darunter werden Viren verstanden, die durch Arthropoden auf Wirbeltiere übertragen werden und sich sowohl in Arthropoden als auch in Wirbeltieren vermehren. Aktuell gibt es mehr als 500 verschiedene Arboviren. Darunter finden sich mehr als 150 Viren mit medizinischer oder veterinärmedizinischer Bedeutung. Dazu zählen u.a. das Gelbfieber- das Zeckenenzephalitis-, das West Nil-, das Japan-Enzephalitis- und das Rift Valley Fieber-Virus. Arboviren weisen sehr komplexe Übertragungszyklen in der Natur auf. Arthropoden sind poikilotherm und damit sind viele physiologische Vorgänge von der Temperatur und anderen Wetterbedingungen abhängig. Damit beeinflussen klimatische Veränderungen insbesondere auf längere Sicht gesehen die geographische Verbreitung von Arthropoden und damit auch die der von ihnen übertragenen Pathogene und das Auftreten menschlicher und tierischer Erkrankungen. In den letzten Jahren und Jahrzehnten trat eine Reihe von Infektionskrankheiten erstmals oder nach langer Zeit der Ruhe erstmals wieder auf, darunter eine Reihe von Arbovirus-Infektionen. Als Ursache für dieses erstmalige Auftreten oder Wieder-Auftreten von Infektionskrankheiten werden u.a. auch direkte oder indirekte Auswirkungen durch Änderungen im Klima genannt. In der Tat stellt das Auftreten von Arbovirus-Infektionen beim Menschen häufig Hinweise für gestörte ökologische Übertragungszyklen dar, die durch Veränderungen des Wetters oder des Klimas bedingt sein können. Das tiefere Verständnis für die Auswirkung solcher klimatischer Veränderungen auf das Auftreten von Arbovirus-Infektionen kann helfen solche Ausbrüche vorherzusagen und damit schon im Vorfeld zu verhindern oder abzumildern.*

**Spread of Arbovirus Infections and the Role of Climatic Factors:** *Arboviruses are viruses transmitted by arthropods to vertebrates and therefore also to humans. Some of the most important arbovirus diseases are yellow fever, tick-borne encephalitis, dengue fever and some 150 more diseases in humans and animals. Due to the complex transmission cycles arboviruses are dependant of climatic conditions. The occurrence of human or animal diseases is strongly associated with weather or climatic phenomena. The occurrence of unusual arbovirus infections in a region is often a sensitive evidence for changes of meteorological or climatic conditions. A dramatic global increase of some arbovirus infections during the last years shows a increasing influence of climatic changes on incidence of infectious diseases.*

Das Klima und seine Variablen üben auf viele Infektionskrankheiten einen Einfluss auf. Besonders zeigt sich dieser Einfluss bei Krankheitserregern, deren Vermehrungszyklus durch tierische Überträger oder Wirtsorganismen bestimmt wird. Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) definiert Arboviren (**arthropodborne**) als Viren, die in der Natur ausschließlich oder zum überwiegenden Teil von Arthropoden (Gliederfüßler wie Insekten und Spinnentiere) auf Wirbeltiere übertragen werden und diese im Verlauf eines virämischen Stadiums wieder von uninfizierten Arthropoden aufgenommen werden. Nach einer systemischen Infektion der Arthropoden werden die Viren über den Speichel im Rahmen des Arthropoden-Stichs wieder übertragen.

Insbesondere die Populationen der Arthropoden, in geringerem Ausmaß jedoch auch Populationen von verschiedenen Vertebraten zeigen eine deutliche Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren und Klimaphänomenen. Diese Zusammenhänge sind weitaus

komplexer als angenommen und werden bisher nur unvollkommen verstanden. Schon in den 1970er Jahren wurde versucht, die Faktoren zu erkennen und die Einflüsse verschiedener ökologischer Parameter zu verstehen. Eine klassische Arbeit von ASPÖCK zeigt in einem Schema die komplexen Zusammenhänge (ASPÖCK 1970). In diesem Schema wird deutlich, dass zur Aufrechterhaltung des natürlichen Virus-Übertragungszyklus die meteorologischen Faktoren sowohl auf die Vektoren, auf die Vertebraten, als auch auf das Virus einen wichtigen Einfluss für den Übertragungszyklus aufweisen (*Abb. 3.2.3-1*). Danach gestalten Klima und Wetter sowohl die Gesamtbiozönose als auch Teilfaktoren dieses Gesamt-Lebensraums. Mittlerweile wird an vielen konkreten Beispielen deutlich, dass nicht nur die Übertragungszyklen der Arboviren, sondern schlussendlich dann auch die Inzidenz der verursachten Infektionskrankheiten bei Mensch und Tier deutlich mit den Wetterbedingungen korrelieren.

## Einfluss von Wetterparametern auf Virus-Vektor-Beziehung

Zentrale Rolle im Naturzyklus spielt natürlich das Arbovirus. Zur Aufrechterhaltung des Viruszyklus muss eine ausreichende Zahl von virustragenden Arthropoden vorhanden sein. Daneben muss jedoch auch eine genügende Zahl von für die Virusübertragung kompetenten, noch uninfizierten, saugbereiten Arthropoden bereit sein, um den Viruszyklus aufrecht zu halten. Die Populationen von Arthropoden sind grundsätzlich direkt von Wetter-Faktoren wie Niederschlägen oder Umgebungstemperaturen abhängig. Daneben bestimmen die Wetterfaktoren auch so wichtige ökologische Parameter wie Vegetationsstrukturen oder Säugetier-Wirtspopulationen und üben dadurch auch indirekten Einfluss auf die Populationsstruktur und -größe der Arthropoden aus. Epidemisches Auftreten z.B. des Dengue Fiebers oder der Japan Enzephalitis in den Tropen und Subtropen ist klar an das Auftreten der Regenzeit gekoppelt. Durch die Regenzeit entstehen natürliche und künstliche Wasseransammlungen, die den übertragenden Stechmücken, im Fall des Dengue Virus vor

allem *Aedes aegypti* und *Aedes albopictus*, im Fall der Japan Enzephalitis Stechmücken der Gattung *Culex*, vermehrt und optimiert als Brutplätze zur Eiablage dienen. Daneben unterliegen auch weitere Aktivitäten von Arthropoden (Flug, Bewegung, Nahrungsaufnahme, Kopulation, Eiablage) der Umgebungstemperatur und der Luftfeuchtigkeit. So saugt *Aedes aegypti* nur bei Temperaturen  $>18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , darunter sinkt die Blutsaug-Aktivität rasch ab und unter  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$  stirbt dieser wohl wichtigste Stechmücken-Vektor von Arbovirus-Erkrankungen ab (ASPÖCK 1970). Europäische *Aedes*-Arten stellen ihre Flugaktivität bei Luftfeuchtigkeit von  $< 50\%$  ein. Windgeschwindigkeiten von  $> 6\text{ m/sec}$  führen ebenfalls zu einem Sistieren der Flugaktivität von Stechmücken (ASPÖCK 1970). Auch der Luftdruck scheint für die Aktivität von Stechmücken von Bedeutung zu sein, da große kurzzeitige Luftdruck-Schwankungen auf die Flugaktivität von Stechmücken stimulierend wirken (ASPÖCK 1965).

Arthropoden besitzen kein eigenes System zur Regulierung ihrer Körpertemperatur. Die Temperatur im Arthropoden-Körper wird daher immer von der Um-

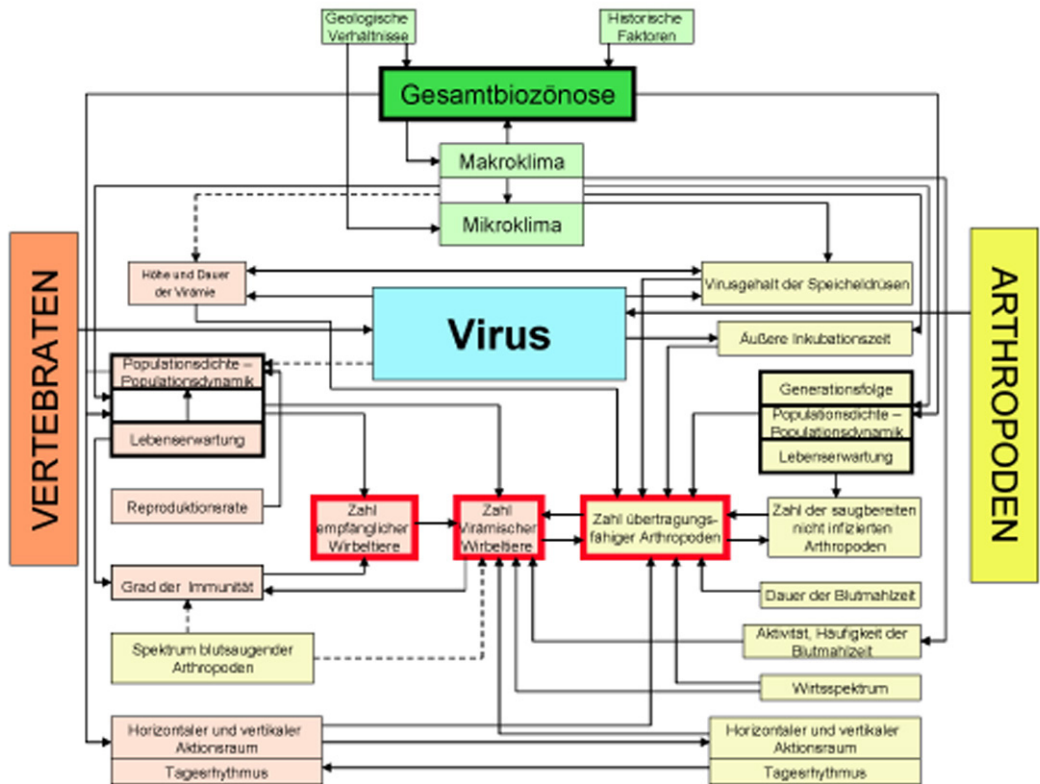


Abb. 3.2.3-1: Faktoren im Naturzyklus von Arboviren (modifiziert nach ASPÖCK 1970).

gebungstemperatur bestimmt. Darüber hinaus ist eine Virusreplikation deutlich temperaturabhängig. Dies zeigt sich für Arboviren in zwei Parametern. Die Zeit von der Aufnahme eines Arbovirus bis zur erneuten Ausscheidung über die Speicheldrüsen wird als extrinsische Inkubationszeit (EIP) bezeichnet. Die EIP ist stark von der Temperatur abhängig. Z.B. beträgt sie für das Gelbfiebervirus in *Aedes aegypti* bei 37 °C nur 4 Tage, während sie sich bei 25 °C mit 11 Tagen fast verdreifacht und bei 18 °C verzehnfacht (40 Tage) (DAVIES 1932). Daneben zeigen aktuelle Untersuchungen, dass auch die Virustiter in den Arthropoden temperaturabhängig sind. Die Infektion von *Culex quinquefasciatus* mit St. Louis Enzephalitis Virus ergab bei einer Umgebungstemperatur von 25 °C Virustiter zwischen  $10^{2.7}$  bis  $10^{3.1}$ . Bei einer Erhöhung der Umgebungstemperatur um nur 3 °C auf 28 °C wurde eine mehr als Verzehnfachung der Virustiter pro Mosquito auf  $10^{3.4}$  bis  $10^{4.5}$  nachgewiesen (RICHARDS et al. 2006). Dies ist umso wichtiger, da Arboviren sowohl in Vertebraten als auch in Arthropoden zu einer produktiven Virusreplikation nur in der Lage sind, wenn die Infektion mit einem bestimmten Mindest-Virustiter erfolgt und damit ein Dosis-Schwellenwert (»threshold«) überschritten wird (HARDY 1988).

Auch Luftstürmungen zeigen Auswirkungen auf Arthropoden. Wind scheint die Flugktivität von Arthropoden zu hemmen. Andererseits gibt es Hinweise, dass über Luftströmungen virustragende Arthropoden über große Strecken und vielleicht sogar über Kontinente verbracht werden können und in ihren neuen Standorten zu Ausbrüchen von Arbovirus-Erkrankungen führen können (PEDGLEY 1983). Entsprechende Ereignisse werden für die Viren der Blauzungen-Krankheit und Afrikanische Pferdekrankheit angenommen, die durch Gnitzen (Ceratopogonidae) übertragen werden (TOUSSAINT et al. 2007). Auch eine regelmäßige Einschleppung von mit Japan Enzephalitis Virus-infizierten Stechmücken aus den tropischen Regionen Südostasiens nach Korea und Japan aus südlichen endemischen Gebieten wird angenommen (REITER 1988).

## **Einfluss von Wetterparametern auf Virus-Vertebraten-Beziehung**

Während der Einfluss von Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftbewegung auf die Übertragungs-Kapazität von Arthropoden ansatzweise verstanden wird, sind die möglichen Einflüsse zwischen Wetter und der Virus-Wirtsbeziehungen deutlich unklarer. Da die meisten der 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 unklar. 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 mildereren 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).

## **Einfluss der Wetterparametern direkt auf Arboviren**

Während viel über Vektor-Wirtsbeziehungen und deren Populationsdynamik spekuliert und modelliert wird, wird bisher nur wenig Augenmerk auf Auswirkungen veränderter Umwelt-Temperaturen auf die jeweiligen Arboviren im Vektor gelegt. Wie schon ausgeführt besitzen Vektoren keine eigene Temperatur, sondern nehmen die Umwelt-Temperatur an. Die Erhöhung oder Erniedrigung der Umwelt-Temperatur könnte zu Veränderungen im Virusgenom führen mit bisher völlig unklaren Auswirkungen auf die Virulenz entsprechend veränderter Viren. Wir wissen, dass Temperatur-sensitive Mutanten vom FSME-Virus eine völlig veränderte Virulenz für den Menschen aufweisen. In Tschechien wurde ein FSME-Virusstamm (Stamm 263) isoliert und charakterisiert, der für den Menschen eine sehr geringe Pathogenität aufweist. Die verfügbaren Daten sprechen dafür, dass diese Änderung der Virulenz auf einer Mutation im Protease-Gen des Virus beruht mit entsprechender Veränderung der Replikation in verschiedenen experimentellen Systemen und vermutlich auch im Menschen.

## **Einfluss von extremen Wetterereignissen auf die Zirkulation 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»). 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 (DOB-LER & 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 Hantavirus Kardiopulmonale Syndrom (Sin Nombre Virus) erstmalig nachgewiesen. 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 Übertragung auf ihre Nachkommenschaft über die Eier (sog. transovarische Übertragung). Die Weibchen der hauptsächlichen Vektoren (*Aedes*- und *Culex*-Arten) legen ihre virustragenden Eier in Ostafrika in sogenannte Dambos. 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 Erkrankungsfälle (> 300 Todesfälle) bei Menschen und zehntausende Erkrankungsfälle bei Haustieren (WHO 2007). Ähnliche ökologische Zusammenhänge mit Stechmückenarten sind auch aus den gemäßigten Klimaregionen bekannt. In Mitteleuropa existieren Stechmückenarten, deren Eier nach Überschwemmung durch Schmelzwasser im Frühjahr ihre Entwicklung beginnen. Mindestens eine dieser Arten, *Aedes vexans*, ist als Überträger des Tahyna-Virus bekannt, das in die Gruppe der California Enzephalitis-Viren klassifiziert wird und in der Slowakischen Republik als Erreger von influenza-ähnlichen Allgemeininfektionen und Meningitis identifiziert werden konnte (SLUKA 1969). Verlängerungen von regelmäßigen zyklischen Regenperioden (z.B. Monsun) können zu einer intensiveren Vermehrung von Stechmücken in den länger vorhandenen Wasseransammlungen und damit ebenfalls zu vermehrtem Auftreten von Stechmücken-übertragenen Arbovirus-Infektionen (z.B. Dengue-Fieber in Pakistan) führen. Dahingegen scheinen Starkregen die Vermehrung von Stechmücken zu behindern. Evtl. kommt es zu einer Auswaschung von Eiern aus Wasserbehältnissen oder zu einem reduzierten Begatten der adulten Stechmücken (BARUAH & DUTTA 2013)

Das Beispiel der Epidemischen Polyarthritits zeigt, dass auch ein Anstieg des Meeresspiegels indirekt 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 Meeres-

spiegels 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 hohe Generationsfolge können sie sich auch deutlich schneller und besser an veränderte Umweltbedingungen anpassen und diese sogar zu ihrem Vorteil ausnutzen.

Ungewöhnliche Wetterereignisse, wie z.B. nach El Niño-Phänomenen werden immer wieder beobachtet, können jedoch auch zum Zusammenbruch ganzer Kleinsäuger-Populationen führen. Dies kann Auswirkungen auf die Viruszirkulation haben, indem eine geringere Zahl von Wirten bei gleichbleibender Vektorgröße zu einer insgesamt deutlich höheren Durchseuchung der Vektoren führen kann (mehr saugende Vektoren pro übertragendem Wirbeltier). Andererseits kann der Populations-Zusammenbruch eines Wirbeltiers zu einem kompletten Sistieren eines Virus führen. Spill-over

Phänomene können dazu führen, dass Vektoren mangels geeigneter Wirte plötzlich auch Menschen als Wirte für eine Blutmahlzeit nutzen und damit eine bisher nicht beobachtete («emerging») Erkrankung auftritt. Zunehmend wird auch die Bedeutung der Wirts- und Vektordiversität für die Übertragung eines Erregers erkannt. Häufig führt die Verringerung der Artendiversität in einem ökologischen Zyklus zu einer Verstärkung des Übertragungszyklus und damit zum verstärkten Auftreten von Erkrankungen beim Menschen.

### Auswirkungen des Klimas auf menschliches Verhalten

Das menschliche Verhalten bildet den entscheidenden Faktor für das Auftreten von durch Arboviren hervorgerufener Infektionen (Abb. 3.2.3-2). Für die meisten dieser Infektionen spielt der Mensch keine Rolle im natürlichen Übertragungszyklus der jeweiligen Viren. Einzige Ausnahmen sind das Dengue-Viren, das Gelbfieber-Virus, Chikungunya-Virus und das O'nyongnyong-Virus. Für diese Infektionen existieren neben den ursprünglichen natürlichen Übertragungszyklen (sylvatischer Übertragungszyklus, Primaten als natürliche Wirte) auch sogenannte urbane Übertragungszyklen. 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 ver-

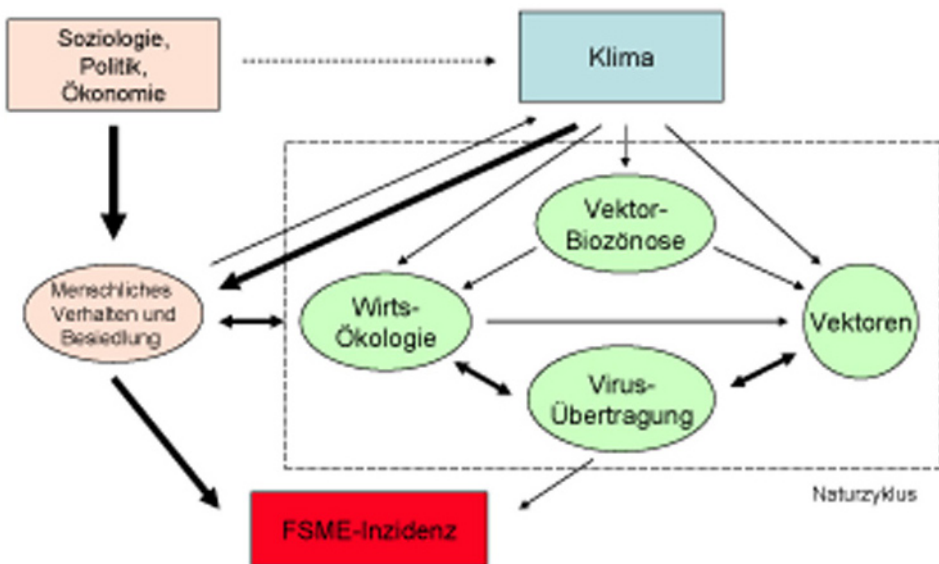


Abb. 3.2.3-2: Schematische Darstellung der Interaktionen von Klima, menschlichem Verhalten und Virus-Naturzyklen und ihrer Auswirkungen auf die Inzidenz von Infektionskrankheiten.

antwortlich. 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 menschliche Verhalten aufweisen (Abb. 3.2.3-2). Daneben ist das individuelle menschliche Verhalten ein wichtiger, vielleicht sogar in vielen Fällen der entscheidende Faktor für das Auftreten von Infektionskrankheiten und insbesondere auch von Arbovirus-Infektionen. Das Beispiel der einheimischen Arbovirus-Infektion Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME) zeigt, dass vor allem soziale Faktoren unserer modernen Gesellschaft eine entscheidende Rolle für das Auftreten von Infektionskrankheiten spielen (Abb. 3.2.3-3; 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. 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. Andere Arbovirus-Infektionen, wie Dengue-Fieber oder Chikungunya-Fieber sind vorwiegend urban übertragene Infektionen. Hier führt die zunehmende Urbanisierung in tropischen Ländern zum Auftreten von Epidemien und der zunehmende Reise- und Migrationsverkehr zur Verschleppung und Ausbreitung dieser Viren über virämische Menschen oder über die Verschleppung von infizierten Vektoren (Stechmücken) mit dem Warenverkehr (z.B. *Aedes albopictus* über Altreifen). Die Zunahme dieser Infektionen steht jedoch indirekt mit dem Klima in Zusammenhang, da viele dieser Migrationsbewegungen nicht zuletzt durch ungünstige Klimabedingungen verursacht sind.

### Ausblick auf die zu erwartende Klimaveränderung

Aufgrund der sehr komplexen Zusammenhänge ist es bisher schwierig brauchbare Vorhersagen zu machen, wie sich Infektionskrankheiten und insbesondere durch Arboviren verursachte Infektionen bei Mensch und Tier entwickeln werden, wenn das Klima sich, wie vorhergesagt, verändern wird. In den Tropen und Subtropen werden die extremen Wetterverhältnisse zu-

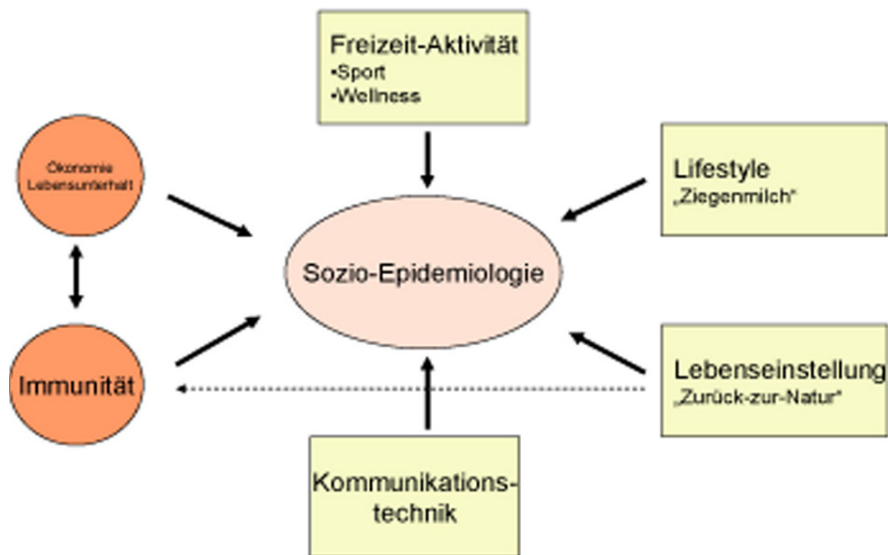


Abb. 3.2.3-3: Faktoren, die die Sozioökonomie und darüber die Epidemiologie von Infektionskrankheiten beeinflussen

nehmen. Dieser Trend ist bisher schon erkennbar. Dies wird sicherlich zu einer Zunahme von Vektor-übertragenen Infektionen führen, nicht zuletzt aus dem Grund, dass dadurch die Infrastruktur stark in Mitleidenschaft gezogen wird und somit Möglichkeiten für einen Anstieg der Vektorpopulationen geschaffen werden. Die extremen Monsun-Regenfälle in verschiedenen Teilen Südostasiens führen immer wieder zu heftigen Dengue Fieber-Ausbrüchen. Inwieweit die Erwärmung des Klimas in gemäßigten Breiten zur Einwanderung neuer potenzieller Vektoren führen wird, kann nicht vorhergesagt werden. Das Vorkommen eines Vektors bedeutet noch nicht, dass eine Arbovirus-Infektion auftreten muss. Beispiele hierfür sind die südlichen Regionen der USA, in denen *Aedes aegypti* vorkommt, ohne dass es zu regelmäßigen und insbesondere großräumigen Dengue-Ausbrüchen kommt. Maßnahmen der Vektor-Kontrolle greifen in den Industrieländern meist gut und führen in kurzer Zeit zu einer deutlichen Reduktion von Vektorpopulationen.

Neben dem Vorhandensein des Vektors müssen ausserdem noch weitere Voraussetzungen gegeben sein, damit ein Naturzyklus in Gang kommt und sich auch über längere Zeit aktiv halten kann. Beispiele von importierten Arboviren in neue Gegenden zeigen, dass sowohl eine Etablierung (West Nil Virus in den USA) als auch ein abortiver Verlauf nach kurzer Zeit (Usutu Virus in Österreich) möglich sind.

Absehbar ist jedoch, dass die Viruslast in Arthropoden-Vektoren zunehmen könnte, ein Effekt, der in den bisherigen Betrachtungen zu den Auswirkungen des Klimawandels auf Vektor-übertragene Infektionskrankheiten wenig Beachtung findet. Auch die Pathogenität einzelner Virusstämme könnte sich durch geringfügige Mutationen ändern. Dies kann zur Folge haben, dass eine größere Zahl von Menschen und Tieren erkranken und/oder dass die Erkrankungen schwerer verlaufen, da die Infektionsdosis pro Arthropodenstich höher liegt. Vielleicht wichtiger als die Klimaänderung an sich ist, wie sich das menschliche Verhalten darauf einstellen wird. Verlagern sich Aktivitäten in den gemäßigten Breiten bei steigenden Temperaturen zunehmend in andere Tageszeiten (z.B. Abenddämmerung) oder generell aus Gebäuden ins Freie, dann kann ein verstärkter Kontakt mit Vektoren die Folge sein. Zunehmende Überschwemmungen durch Starkregen auch in gemäßigten Breiten können das Risiko von hohen Stechmücken-Populationen mit der Folge einer Übertragung von Arboviren zeitigen.

## Literatur

- ASPÖCK H. (1965): Studies on Culicidae (Diptera) and considerations of their role as potential vectors of arboviruses in Austria. Proc. XII. Int. Congr. Ent. London 1964, 767-769.
- ASPÖCK H. (1970): Das synökologische Beziehungsgefüge bei Arboviren und seine Beeinflussung durch den Menschen. Zentralbl. Bakteriol. (Orig. A) 213(4), 434-454.
- BARUAH S. & P. DUTTA (2013): Seasonal prevalence of *Aedes aegypti* in urban and industrial areas of Dibrugarh district, Assam. Trop Biomed 30, 434-443.
- DAVIES N. C. (1932): The effect of various temperatures in modifying the extrinsic incubation period of the yellow fever virus in *Aedes aegypti*. Am. J. Hyg., 16, 163-176.
- DOBLER G., ESSBAUER S., WÖLFEL R. & M. PFEFFER (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.
- DOBLER G. & G. JENDRITZKY (1998): Krankheiten und Klima. IN: LOZAN J. L., GRASSL H. & P. HUPFER (Hrsg.) - Das Klima des 21. Jahrhunderts. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg, 334-340.
- HARDY J. L. (1988): Susceptibility and resistance of vector mosquitoes. In: Monath T. P. (ed). The arboviruses: epidemiology and ecology, CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA. Vol. I. S. 87 – 126.
- LUMSDEN L. L. (1958): St. Louis encephalitis in 1933. Observations on epidemiological features. Public Health Rep. 73, 340-353.
- PEDGLEY D. E. (1983): Wind-borne spread of insect transmitted diseases of animals and man. Philos. Trans. R. Soc. Lond Ser B. 302, 463-472.
- REEVES W. C. (1974): Overwintering of arboviruses. Prog. Med. Virol. 17, 193-236.
- REITER P. (1988): Weather, vector biology and arbovirus recrudescence. In: Monath TP (ed). The arboviruses: epidemiology and ecology, Vol. I. S. 246 – 256. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA.
- RICHARDS S. L., MORES C. N. & W. J. TABACHNICK (2006): Impact of mosquito age and extrinsic incubation temperature on vector competence of *Culex quinquefasciatus* (Diptera: Culicidae) for St. Louis Encephalitis virus. Annual Conference of the American Society of Tropical Medicine & Hygiene, Poster 2287. Atlanta.
- SLUKA F. (1969): Zur Erkenntnis der klinischen Formen des Valtice Fiebers, einer neuen Arbovirose. Wien. Med. Wochenschr. 119, 765-769.
- RUSSELL R. C. & M. J. CLOONAN (1989): Ross River virus activity on the south coast of New South Wales: vector studies. In: Uren M. F., Blok J. & L. H. Manderson (eds). Arbovirus Research in Australia. Proc. 5th Symp. S. 20-23. Brisbane, Australia.
- SCOTT T. W. (1988): Vertebrate host ecology. In: Monath T. P. (ed). The arboviruses: epidemiology and ecology, Vol. I. S. 258 – 280. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida, USA, 1989.
- TOUSSAINT J. F., SAILLEAU C., MAST J., HOUDART P., CZAPLICKI G., DEMEESTERE L., VANDENBUSSCHE F., VAN DESSEL W., GORIS N., BREARD E., BOUNAADJA L., ETIENNE T., ZIENTARA S. & K. DE CLERCQ (2007): Bluetongue in Belgium, 2006. Emerg. Infect. Dis. 13(4):614-6.
- WHO (2007): Actual outbreak informations, [www.who.org](http://www.who.org).

## Kontakt:

Dr. Gerhard Dobler  
Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, München  
[gerharddobler@bundeswehr.org](mailto:gerharddobler@bundeswehr.org)

Prof. Dr. Martin Pfeffer  
Institut für Tierhygiene und Öffentliches Veterinärwesen  
Universität Leipzig  
[pfeffer@vetmed.uni-leipzig.de](mailto:pfeffer@vetmed.uni-leipzig.de)

Dobler, G. & M. Pfeffer (2014): Bedeutung der Klimafaktoren für die Ausbreitung und Übertragung von Arbovirus-Infektionen. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffentl. (Kap. 3.2.3) - [www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de](http://www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de).