

3.2.14 Fröhsummer-Meningoenzephalitis und Klimawandel

GERHARD DOBLER & MARTIN PFEFFER

Fröhsummer-Meningoenzephalitis und Klimawandel: Seit einigen Jahrzehnten weisen durch Zecken übertragene Infektionen, allen voran die Fröhsummer-Meningoenzephalitis (FSME) und die Lyme-Borreliose, eine zunehmende medizinische Bedeutung in Europa und in anderen Teilen der Erde auf. Eine Reihe neuer, durch Zecken übertragener bakterieller und viraler Infektionen wurden in den vergangenen Jahren entdeckt und die medizinische Bedeutung dieser neuen Infektionen wird erst langsam verstanden. Als ein wichtiger Grund für die Zunahme der durch Zecken übertragenen Virusinfektionen und das Auftreten neuer Infektionen wird immer wieder der Klimawandel und die damit in Zusammenhang stehenden lokalen und globalen meteorologischen Phänomene genannt. Diese Faktoren beeinflussen direkt oder indirekt eine Reihe von wichtigen Faktoren im natürlichen Übertragungszyklus dieser Viren, u.a. die tägliche und saisonale Aktivität der Zecken und deren Wirtsfindungs-Aktivitäten, jedoch auch die Populationsstrukturen der Wirbeltierwirte des FSME-Virus und deren Aktivität. Damit steht der natürliche Übertragungszyklus des FSME-Virus wie auch der anderer Zecken-übertragener Viren unter dem Einfluss klimatischer Faktoren. Ein anderer, möglicherweise wichtiger Faktor wurde dagegen bisher weitgehend außer Acht gelassen, nämlich der Einfluss der Umgebungstemperatur auf das FSME-Virus in der Zecke selbst, als poikilothermen Tieren, die ihre eigene Temperatur der Umgebungstemperatur anpassen müssen. Veränderungen in der Zecken-Ausbreitung und der Zeckenaktivität werden aktuell insbesondere an den nördlichen Verbreitungsgrenzen der Zecken und des FSME-Virus beobachtet. Namentlich in Schweden, in Finnland und in Russland konnte in den vergangenen zwei Jahrzehnten eine deutliche Ausweitung der Verbreitungsgebiete von *Ixodes ricinus* und dem dadurch übertragenen FSME-Virus in nördlicher Richtung verfolgt werden. In Mitteleuropa werden *Ixodes ricinus* und das dadurch übertragene FSME-Virus vermehrt in größeren Höhen insbesondere in den Mittelgebirgen beobachtet. Allerdings zeigen hier die Untersuchungen bisher keinen klaren Trend einer Ausbreitung der bekannten FSME-Endemiegebiete an. Damit scheinen die Zeckenaktivität und die Aktivität des FSME-Virus in Mitteleuropa momentan weniger durch den Klimawandel als durch meteorologische Faktoren und deren Einfluss auf die Nagetierpopulationen als Wirbeltierwirte des FSME-Virus beeinflusst zu werden.

Tick-borne encephalitis and climate change: Over the past decades several tick borne diseases, among them tick-borne encephalitis (TBE), Lyme Borreliosis, ehrlichiosis and anaplasmosis have become a growing public health problem in Europe and other parts of the world. Several new tick-borne viruses emerged and now play an important role in the respective area. One important reason for this new occurrence and the changing epidemiology of tick-borne diseases and especially TBE may be the global climatic changes and related meteorological local and global phenomena. These factors directly influence the daily and seasonal activity of ticks, their host finding activities, but also the activity and population structure of the vertebrate hosts of TBE virus. Therefore, for TBE virus as for other tick-borne viruses climatic factors influence their arthropod vector and their vertebrate hosts. Furthermore, the influence of changing ambient temperature on the TBE virus in poikilothermic animals so far has not been studied. The recent climatic changes have also substantially changed the tick activities and therefore the occurrence of human TBE cases. These changes seem to be especially prominent in the extreme distribution areas of the TBE virus. In Scandinavia and Russia a clear spread to more northern areas has been observed during the last years. But also in Central Europe ticks and TBE virus can be found in higher altitudes of the Bavarian and Bohemian Forest and also the Alp. However, so far no clear trend in the extend of the transmission period in the well-known natural foci of TBE virus can be detected. Here the activity of ticks and also TBE virus in ticks seem not to be associated with long-term climatic changes but mainly be influenced more by individual meteorological factors and also by the varying rodent populations.

Die Fröhsommer-Meningoenzephalitis ist eine Virusinfektion. Sie wird vom sog. »Tick-borne encephalitis-Virus« (TBEV) hervorgerufen, einem Virus aus der Familie Flaviviridae (MANSFIELD et al. 2009). Nach einer älteren Klassifizierung handelt es sich um ein sog. Arbovirus. Dieser Begriff ist ein rein ökologisch definierter Begriff. Er umfasst Viren aus verschiedenen Virusfamilien mit unterschiedlichem strukturellem Aufbau und Funktionen in der intrazellulären Replikation. Einziges gemeinsames Kriterium in der Gruppe der Arboviren ist die überwiegende oder ausschließliche Übertragung durch einen Arthropoden (*Arbo*: Arthropod-borne) in der Natur. Alle Viren in dieser Gruppe werden in der Natur durch Stechmücken, Gnitzen, Wanzen, Sandmücken oder Zecken auf und zwischen einer Vertebraten (Wirtstier)-Population übertragen.

Beim TBEV können aufgrund molekularbiologischer Charakteristika momentan mindestens drei Untergruppen von TBEV identifiziert werden (ECKER et al. 1999). Nach russischen Angaben gibt es möglicherweise zwei weitere Subgruppen (DEMINA et al. 2012). Die drei detailliert charakterisierten Subtypen sind:

- Westlicher Subtyp
- Sibirischer Subtyp
- Fernöstlicher Subtyp

Natürlicher Übertragungszyklus

Das TBEV wird nach aktuellen Kenntnissen in der Natur ausschließlich durch Zecken übertragen. In Europa ist dies v.a. *Ixodes ricinus*, der Gemeine Holzbock, in Asien ist dies v.a. die Taigazecke (*Ixodes persulcatus*). Zur Bedeutung anderer Zeckenarten ist wenig bekannt. Grundsätzlich kann allerdings FSME-Virus in *Dermacentor* spp., *Haemaphysalis* spp. und anderen *Ixodes*-Arten nachgewiesen werden. Für die Aufrechterhaltung des Naturzyklus scheinen diese Arten nach augenblicklichem Verständnis wenig Bedeutung zu besitzen (MANSFIELD et al. 2009). Das FSME-Virus zirkuliert innerhalb der Zeckenpopulation. Dort kann es transstadiell persistieren. D.h. eine infizierte Zeckenlarve bleibt nach ihrer Metamorphose zur Nymphe und zum adulten Tier Virusträger. Eine einmal mit dem FSME-Virus infizierte Zecke kann das Virus somit lebenslang ausscheiden und übertragen. Eine Übertragung des FSME-Virus von infizierten Weibchen auf die Eier (transovariable Übertragung) ist beschrieben, scheint jedoch relativ ineffizient zu sein (DANIELOVA et al. 2002). Die Bedeutung für die Aufrechterhaltung des Übertragungszyklus im Naturherd ist unklar.

Zur Aufrechterhaltung des Naturzyklus muss das FSME-Virus von Zecken in kompetente Vertebratenwirte übertragen werden, d.h. Wirbeltiere, die in der

Lage sind, so hohe Virusmengen im Blut zu entwickeln, dass das FSME-Virus von anderen Zecken aufgenommen werden kann und diese das Virus wieder übertragen können. Nach dem aktuellen Kenntnisstand sind diese Vertebratenwirte vor allem kleine Nagetiere, u.a. die Gelbhalsmaus und die Rötelmaus. Über die Bedeutung anderer Nagetiere und Wildtiere wird spekuliert, jedoch fehlen belastbare Daten. Es scheint allerdings, dass größere Waldtiere wie Rehe, Füchse oder Wildschweine den FSME-Übertragungszyklus nicht unterstützen und damit nicht als Wirte für das Virus dienen können.

Zur Infektion müssen Zecken (abgesehen von seltenen transovariellen Übertragungen) virushaltiges Blut von infizierten Nagetieren saugen (virämische Übertragung) oder infizierte und nicht infizierte Zecken müssen nahe beieinander auf einem Nagetier Blut saugen (»co-feeding«, sog. nicht-virämische oder Speichel-unterstützte Übertragung) (LABUDA et al. 1993). Aus diesen grundlegenden Betrachtungen ergeben sich drei Faktoren, Zecke, Vertebratenwirt und Virus, die für den Naturzyklus wichtig sind und ein vierter Faktor, der Mensch, der für das Auftreten von FSME-Erkrankungen von Bedeutung ist. Alle vier Faktoren können in unterschiedlicher Weise durch das Wetter und langfristig durch das Klima beeinflusst werden (Abb. 3.2.14-1).

Klima und Zecke und FSME

Am meisten wird momentan über den Einfluss des Klimas auf die Ausbreitung des Vektors der FSME, *Ixodes ricinus* in Europa und *Ixodes persulcatus* in Asien spekuliert. Zecken benötigen für ihre Aktivität eine gewisse Mindesttemperatur. Eine Erwärmung könnte dazu führen, dass sich diese Mindest-Temperatur in nördlicheren Regionen und in höheren Höhen einstellt und damit eine Zeckenaktivität möglich macht.

Damit werden vor allem zwei Ausbreitungs-Richtungen diskutiert, eine horizontale Ausbreitung in nördlicher Richtung und eine vertikale Ausbreitung in höhere Höhenlagen in Mitteleuropa. Für die skandinavischen Länder, insbesondere Schweden und für den Norden des europäischen Teils Russlands (Archangelsk) konnte ein vermehrter Nachweis von *Ixodes ricinus* in nördlicheren Regionen gezeigt werden. Die russischen Daten zeigen für die Region Archangelsk einen deutlichen Anstieg der menschlichen Erkrankungen im Vergleich zum Trend in Gesamt-Russland aufgrund der Nordwärts-Wanderung der Zecken (TOKAREVICH et al. 2011). Für Schweden ist dies allerdings nicht der Fall.

Insbesondere in den tschechischen Mittelgebirgen wird eine vertikale Ausbreitung auf Höhenlagen von mehr als 1.000 m beobachtet, wo noch vor 20 Jahren

keine Zecken gefunden werden konnten (DANIELOVA et al. 2010). Diese Ausbreitung der Zecken und ggf. auch des FSME-Virus ist nach den Analysen der tschechischen Epidemiologen ein wichtiger Grund für den weiteren Anstieg der FSME-Erkrankungen in der Tschechischen Republik in den vergangenen 20 Jahren. Interessant ist, dass ein entsprechender Anstieg in den Deutschen Mittelgebirgen (Bayerischer Wald, Oberpfälzer Wald) bisher nicht nachweisbar ist. Auch in den Alpen kann bisher eine wirklich nachhaltige Zeckenpopulation jenseits von 800 bis 900 Höhenmetern nicht nachgewiesen werden. Weder in den Bayerischen Alpen noch in den Zillertaler Alpen finden sich jenseits 900 m Höhe nennenswerte Zeckenzahlen (FINGERLE pers. Mittl.; pers. Beobachtung). In den Schweizer Alpen konnte als wichtige Ursache für das begrenzte Auftreten von *Ixodes ricinus* eine geringere Feuchtigkeitssättigung in größeren Höhen nachgewiesen werden (JOUHA et al. 2004). Im tschechischen Riesengebirge konnten jedoch regelmäßig noch in Höhen von 1.200 m FSME-Virus in Zecken nachgewiesen werden (DANIELOVA et al. 2010). Damit sind auch diese Daten zur horizontalen Ausbreitung sehr differenziert zu betrachten und zu analysieren.

Weiter können Wetter bzw. auf lange Sicht das Klima einen Einfluss auf die Länge und die Intensität der Aktivität der Zecken ausüben. Höhere Temperaturen führen üblicherweise zu einer erhöhten Aktivität, ggf. auch zu einer zeitlich verlängerten Aktivität. Höhere Temperaturen können jedoch auch zu einer erniedrigten Luftfeuchtigkeit führen, die die Aktivität der Zecken deutlich hemmt. Die deutlich reduzierte Aktivität des Holzbocks in den Sommermonaten wird u.a. auf die höheren Temperaturen und die dadurch bedingte niedrigere Luftfeuchtigkeit zurückgeführt.

In einigen Modellen wird postuliert, dass die Geschwindigkeit der Frühjahrs-Erwärmung einen deutlichen Einfluss auf die Etablierung von FSME-Naturherden haben könnte. Danach wird die nicht-virämische Übertragung des FSME-Virus bei gleichzeitig auf einem Nagetier saugenden verschiedenen Zeckenstadien als wichtige Voraussetzung für die Entstehung und Aufrechterhaltung eines FSME-Naturzyklus gesehen. Larven weisen ein deutlich höheres Aktivitätsminimum (10 °C) auf als Nymphen (5–7 °C) von *Ixodes ricinus*. Erhöht sich nun die Temperatur im Frühjahr rasch, so können Larven und Nymphen gleichzeitig aktiv sein und Blut saugen. Dadurch kann die Zahl der infizierten Zecken stabil gehalten werden für die Aufrechterhaltung des Naturherds.

Bisher gibt es keine detaillierten Untersuchungen zur Aktivitätsdauer der Zecken. In norwegischen Untersuchungen zeigte sich, dass die Dauer der Schneebedeckung einen großen Einfluss auf die Zeckenaktivität aufwies (ANDREASSEN et al. 2012). Selbst eine fehlende Schneedecke bei Temperaturen unter 5 °C führte noch zu einer Zeckenaktivität. Dahingegen sistierte die Zeckenaktivität bei Schneebedeckung völlig. Die Auswertung der deutschen Meldedaten zur FSME zeigt, dass es in den vergangenen Jahren nicht zu einer Erhöhung der Zahl der Wochen im jeweiligen Jahr gekommen ist, in denen 5 oder mehr FSME-Fälle, 10 oder mehr FSME-Fälle bzw. 20 oder mehr FSME-Erkrankungsfälle pro Woche gemeldet wurden. Dies könnte als ein Surrogat-Marker dafür dienen, dass die Aktivitätsperiode pro Jahr in Jahren 2001 bis 2013 in Deutschland großen Schwankungen unterlag, sich jedoch vom Trend her nicht verlängert. Zur Aktivitätslänge in größeren Höhen sind bisher keine vergleichenden Daten verfügbar.

Immer wieder wird in der Öffentlichkeit der Einfluss

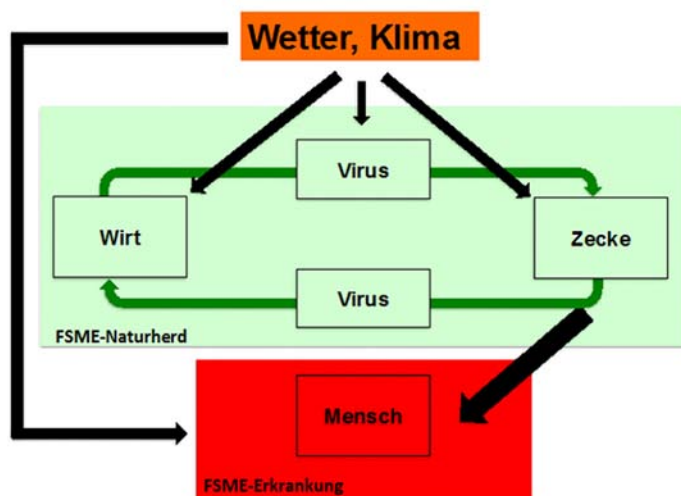


Abb. 3.2.14-1: Einfluss des Wetters und des Klimas auf die Faktoren für den FSME-Naturzyklus und das Auftreten von menschlichen FSME-Erkrankungen.

milder oder harter Winter auf die Zeckenpopulation diskutiert. Mehrjährige Untersuchungen in einem FSME-Naturherd in Ostbayern zeigen, dass weder die mittlere noch die maximale Tiefsttemperatur oder die Schneemenge oder die Länge der Schneedecke im jeweiligen Jahr einen Einfluss auf die Zeckenpopulation im darauf folgenden Jahr aufwies (eigene Beobachtungen).

Klima und Virus und FSME

Die Temperatur könnte auch einen Einfluss auf die Höhe der Virusmenge in der Zeckenpopulation haben. Es ist bisher nicht geklärt, ob sich FSME-Viren bei erhöhten Umgebungstemperaturen besser und zu höheren Virusmengen in der Zecke selbst vermehren können. Dies könnte eine entscheidende Bedeutung haben, da größere Virusmengen mit größeren Infektionsdosen gleichzusetzen sind und damit möglicherweise ein höherer Anteil der Infektionen klinisch verlaufen könnte oder insgesamt das klinische Bild der FSME einen schwereren Verlauf nehmen könnte. Bisher ist diese Frage nach dem Einfluss der Umgebungstemperatur auf die Virusreplikation in der Zecke nicht untersucht worden. Eigene Beobachtungen zeigen, dass im Frühjahr erst eine Zeit der höheren Temperatur vergehen muss bis erste positive Zecken nachgewiesen werden können. Dies könnte darauf hin deuten, dass die Replikation im Winter abnimmt oder eingestellt wird und im Frühjahr wieder langsam in Gang kommt. Inwieweit dann heißere Sommer zu einer höheren Virusmenge in Zecken führen könnten, ist bisher ungeklärt. Auch ein Einfluss kälterer Winter-Temperaturen auf die Virusreplikation und den Virusgehalt in Zecken wäre grundsätzlich denkbar, ist jedoch ebenfalls ungeklärt.

Auch die Frage, inwieweit sich das FSME-Virus innerhalb der Zecke an veränderte Umwelt-Temperaturen anpassen kann, ist bisher nicht geklärt. Frühere Daten

aus der Tschechischen Republik zeigen, dass auch in der Natur Virusmutanten mit veränderten Temperaturprofilen vorkommen. Eine temperatursensitive Virusmutante (ts263) wurde in einer Region mit hoher Seroprävalenzrate (10–15%) in der Bevölkerung, allerdings ohne humane Erkrankungsfälle isoliert (WALLNER et al. 1996). Es zeigte sich dabei ein Replikationsdefekt, der auf eine Mutation im NS3-Protein (Protease) des Virus zurückzuführen ist und der zu geringeren Vermehrungsraten in Zellkulturen führte. Inwieweit FSME-Viren in den Grenzregionen der Ausbreitung sich in den letzten 30 Jahren phänotypisch veränderten und sich an eine höhere Umgebungstemperatur angepasst haben, ist eine interessante Fragestellung, die bisher so weder gestellt und noch weniger bearbeitet worden ist. Insgesamt kann allerdings evtl. die Temperatur direkt auf das Virus in der Zecke zu veränderten humanpathogenen Eigenschaften führen und somit einen Effekt auf das Auftreten von mehr oder weniger Erkrankungsfällen beim Menschen haben.

Klima und Nagetiere und FSME

Zu den Auswirkungen des Wetters auf die vermuteten Wirtspopulationen der Zecken und des FSME-Virus gibt es zunehmend Daten, die für die Dynamik von Nager-übertragenen Infektionen (*Hantavirus*-Infektionen) erhoben werden. In Mitteleuropa ist die Rötelmaus ein wichtiger Überträger des *Puumala-Virus*. Die Daten zeigen, dass insbesondere akute Wetterphänomene (u.a. El Niño auf dem amerikanischen Kontinent) einen Einfluss auf die aktuelle Populationsstärke aufweisen. Weitere Faktoren, die die Population der Kleinnager bestimmen können, sind u.a. die verfügbare Nahrung (Eichelmast, Buchenmast), deren Bildung auch wieder von Wetterfaktoren mitbestimmt wird. Es scheint, dass durch die Veränderung des Klimas die Abstände

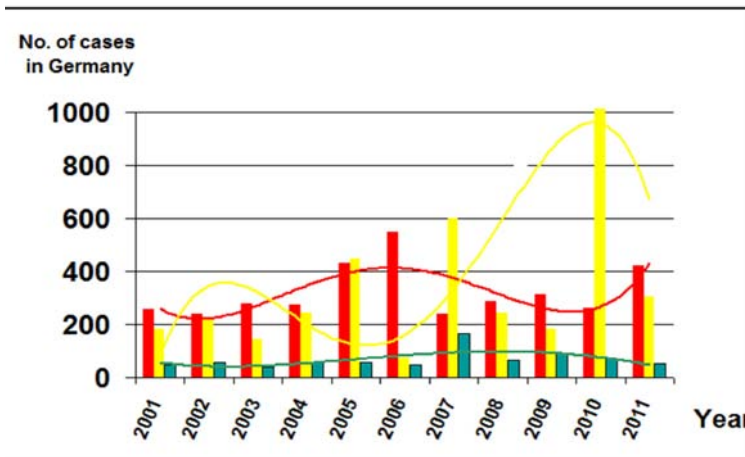


Abb. 3.2.14-2: Absolute gemeldete Zahlen für Hantaviren (gelbe Balken), FSME (rote Balken) und Leptospirose (grüne Balken) und jeweiliger Trend der Erkrankung (korrespondierende farbliche Linie). (kein Hinweis im Text)

zwischen Mastjahren kürzer werden (alle zwei Jahre gegenüber früher alle drei Jahre) und dass dadurch die Nagerpopulationen auf einem höheren Populations-Niveau aus dem Winter in das Frühjahr gehen und damit wieder höhere Populationen erreichen können.

Für das Auftreten von Hantavirus-Infektionen existieren mittlerweile Modelle für Europa und die USA. Hier zeigt sich eine eindeutige Korrelation zwischen der Größe der jeweiligen Nagerpopulation und dem Auftreten von menschlichen Hantavirus-Erkrankungen. Diese Korrelationen scheinen für unterschiedliche Regionen unserer Erde durchaus unterschiedlich sein zu können. Kalte Winter im Norden haben einen geringen Einfluss auf die Nagerpopulation als kalte Winter in gemäßigten Breiten. Diese Daten sind jedoch nicht ohne weiteres auf die FSME- zu übertragen. Hier könnte es sogar so sein, dass eine starke Zunahme der Nagetierpopulationen bei gleicher Zeckenpopulation zu einem Verdünnungseffekt der Virusprävalenz im nachfolgenden Jahr führen könnte. Analysen von Hantavirus- und FSME-Meldungen in Deutschland könnten auf einen entsprechenden Effekt hinweisen, wenn nicht die jeweiligen aktuellen Zahlen des Jahres, sondern der jeweilige Jahrestrend betrachtet wird. Die Zahlen zeigen einen indirekten Trend von Hantavirus- und FSME-Erkrankungen. Dagegen zeigen Leptospirosen keinen Trend gegen die beiden Erkrankungen. Dies könnte auf eine Bedeutung der Rötelmaus (Hauptüberträger des *Puumala-Virus* in Mitteleuropa) hindeuten, während andere Nagetiere (Leptospirose) keine Rolle für die FSME-Inzidenz spielen. Insgesamt muss konstatiert werden, dass der Einfluss der Nagerpopulationen auf die FSME-Virusaktivität im Naturherd bisher wenig untersucht wurde und auch nicht geklärt ist. Möglicherweise ist sie weit größer, als die Bedeutung der Zeckenpopulationen. Auch die Problematik der anthro-

pogenen Landschaftsveränderung und der Biodiversität in Naturherden wird bisher nur in Ansätzen erforscht (BOLZONI et al. 2012; CAGNACCI et al. 2012; OSTFELD 2009; RANDOLPH 2001) (Abb. 3.2.14-2).

Klima und Mensch und FSME

Wie schon ausgeführt läuft der FSME-Viruszyklus im Naturherd ohne Mensch ab. Der Mensch ist damit für die Aufrechterhaltung des Naturzyklus und für die Persistenz des FSME-Virus in der Natur ohne Bedeutung. Damit ist auch die menschliche FSME-Erkrankung ein denkbar schlechter Parameter für das Messen der Zeckenaktivität oder Virusaktivität in den Zecken eines Naturherds. Trotzdem wird immer wieder versucht, menschliche Erkrankungszahlen mit der Ausbreitung oder Steigerung der Aktivität der Zecken oder auch des FSME-Virus zu korrelieren und aus erhöhten oder erniedrigten Erkrankungszahlen Tendenzen für die Zukunft abzuleiten. Wie schon gezeigt wurde ist die Schwankungsbreite der menschlichen FSME-Zahlen so hoch, dass hier eindeutige Tendenzen nur schwer abzulesen sind. Langjährige Untersuchungen in einzelnen Naturherden in Deutschland zeigen auch, dass die Variabilität der Virusprävalenz in Zecken gering ist und nicht die Variabilität der Erkrankungszahlen beim Menschen widerspiegelt.

Analysen einzelner Wetterparameter und der FSME-Erkrankungsfälle zeigen, dass ein Zusammenhang zwischen schlechten Wetterperioden in der Hauptübertragungs- und Aktivitätszeit der Zecken und dem Auftreten von menschlichen Erkrankungen besteht. So stieg die Zahl der FSME-Erkrankungen besonders dann an, wenn die Niederschläge im Sommer niedrig waren (Abb. 3.2.14-3; 2010, 2013) während in den Zeiten hoher Niederschläge die Zahl der gemeldeten Erkrankungen (nach einer lag-Phase von

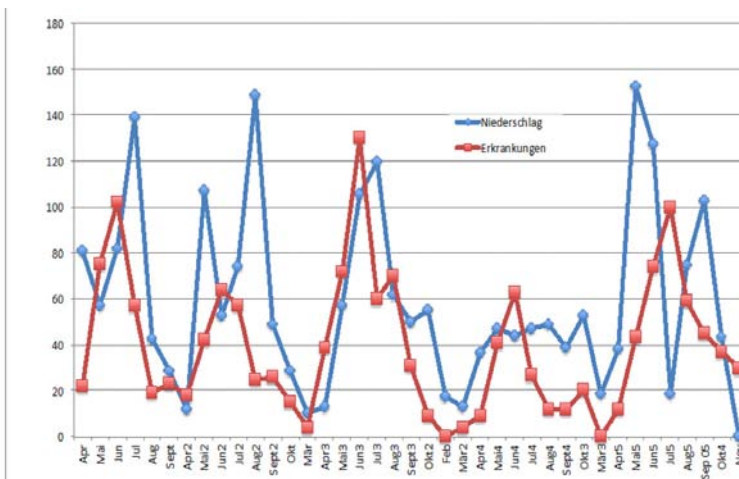


Abb. 3.2.14-3: Korrelation zwischen menschlichen FSME-Erkrankungsfällen und Niederschlägen in den Jahren 2009 bis 2013 (nach Daten des Deutschen Wetterdienstes und von SurvStat, RKI, Berlin).

4 Wochen) jeweils deutlich niedriger lag (Abb. 3.2.14-3; 2009, 2011, 2013). Hier zeigt sich, dass das Wetter einen deutlichen Einfluss auf das Verhalten des Menschen aufweist, Aktivitäten in der Natur zu entwickeln und dadurch verstärkt oder vermindert mit den Zecken in Kontakt zu kommen.

Auch soziale Komponenten können dazu eine Rolle spielen. So weiß man, dass in Sommern mit wichtigen globalen Sportereignissen Menschen weniger häufig in der Natur aktiv sind und häufiger vor den Fernsehgeräten sitzen. Dieser Effekt könnte wiederum in höher entwickelten Ländern größer sein als in weniger entwickelten Ländern oder in Ländern, die an einem Sportereignis nicht teilnehmen können.

Ein weiterer wichtiger Faktor ist der Anteil der geimpften Menschen in einer Bevölkerung mit FSME-Impfstoff. Das Beispiel Österreichs zeigt deutlich, dass die Anteile geimpfter Personen in der Bevölkerung einen deutlichen Einfluss auf die gemeldeten FSME-Erkrankungszahlen aufweisen. Die Reduktion der Zahlen um ca. 80–90% seit Einführung der Impfung in Österreich entspricht etwa der dortigen Durchimpfungsrate in der Bevölkerung. Die Reduktion der Erkrankungszahlen in Österreich hat damit keine Ursache in einer Veränderung der Zeckenaktivität oder der Durchseuchung der Zeckenpopulationen mit dem FSME-Virus. Die Durchimpfung von unter 50% der Bevölkerung (so wie aktuell in den meisten Teilen Deutschlands) hat keinen signifikanten Effekt auf die Erkrankungszahlen des Menschen, was man an der Variationsbreite der Krankheitshäufigkeit um bis zu mehr als dem Doppelten erkennen kann.

Anstieg der Erkrankungszahlen

Ein Wandel des Klimas wurde vor allem um die Jahrtausendwende häufig mit einem Anstieg der Vektorenpopulation, einer weiteren Ausbreitung der Vektoren und Erkrankungsfälle assoziiert. Dies ist eine Verallgemeinerung, die so nicht aufrecht erhalten werden kann. Hier müssen einzelne Regionen in Europa sehr differenziert betrachtet werden.

Deutschland

In Deutschland besteht seit 2001 durch das Infektionsschutzgesetz eine Meldepflicht für FSME-Erkrankungen. Damit liegen verlässliche Daten zumindest für schwerere FSME-Erkrankungen vor. Sicherlich werden dabei jedoch nicht alle Infektionen, insbesondere nicht solche ohne oder nur mit milden ZNS-Verläufen gemeldet. Seit 2001 ist die Zahl der gemeldeten FSME-Erkrankungen weitgehend stabil. Dabei zeigen sich allerdings Schwankungen um mehr als das Doppelte

(s.o. und Abb. 3.2.14-4). Dies dürfte den natürlichen Schwankungen der Aktivität und insbesondere der menschlichen Aktivität in FSME-Naturherden entsprechen. Die Analyse der Bundesländer Bayern, Baden-Württemberg, Hessen und Thüringen, in denen über 90% der FSME-Fälle gemeldet wurden, zeigt, dass der Anstieg vor allem auf einen Anstieg in Bayern zurückzuführen ist (Abb. 3.2.14-5). Diese Daten zeigen, dass der vermeintliche Anstieg der FSME-Erkrankungsfälle weder durch eine Ausbreitung der FSME-Aktivität in ostdeutschen oder norddeutschen Ländern noch in höheren Höhenlagen bedingt ist.

Eine weitere, häufig diskutierte Möglichkeit ist die zeitliche Ausweitung der jährlichen Aktivität der Zecken. Auch hierzu gibt es keine systematischen Untersuchungen in Deutschland. Als Surrogat-Marker können die jeweils gemeldeten FSME-Fälle pro Woche verwendet werden. Hierbei wurde die Zahl der Wochen mit 5–9, mit 10–20 und mit > 20 gemeldeten Erkrankungsfällen in den Jahren 2001 bis 2013 aufgelistet und analysiert. Dabei zeigt sich, dass im analysierten Zeitraum die Zahl der Wochen mit 5–9 Erkrankungsfällen, die Zahl der Wochen mit 10–19 und die Zahl der Wochen mit 20 und mehr Erkrankungsfällen in den Jahren weitgehend stabil sind (Abb. 3.2.14-6). Allerdings zeigen sich auch hier deutliche Variationen von Jahr zu Jahr um das bis zu Dreifache.

Schweden

Schweden zählt seit Jahren zu den Ländern mit deutlich ansteigenden Erkrankungszahlen von FSME (Abb. 3.2.14-7).

In verschiedenen Publikationen wird immer wieder die Nordwärts-Wanderung von *Ixodes ricinus*, und als Ursache dafür, die Erwärmung des Klimas genannt. (LINDGREN et al. 2000) Als Folge davon wird der beobachtende Anstieg der FSME-Erkrankungen genannt. Ähnliche Beobachtungen waren Anfang der 1990er Jahre in den baltischen Ländern gemacht worden. Weitere Analysen zeigten jedoch, dass die Hypothese der Klimaerwärmung als Ursache für den Erkrankungsanstieg der FSME in diesen Ländern nicht aufrecht erhalten werden konnte (SUMILO et al. 2007). Eine Analyse der in Schweden in den letzten Jahren und Jahrzehnten aufgetretenen Erkrankungsfälle und Infektionsorte zeigt, dass die Infektionen nur in geringem Ausmaße weiter nördlich stattfinden, sondern sich eher nach Westen ins das Innere Schwedens ausbreiten, während noch bis Anfang 1990 FSME-Fälle außerhalb der Region Stockholm selten waren (JAENSON et al. 2012). Für Schweden zeigt sich damit eine ähnliche Entwicklung wie für das europäische Festland. Auch hier ist eine Tendenz der Ausbreitung nach Westen zu erkennen

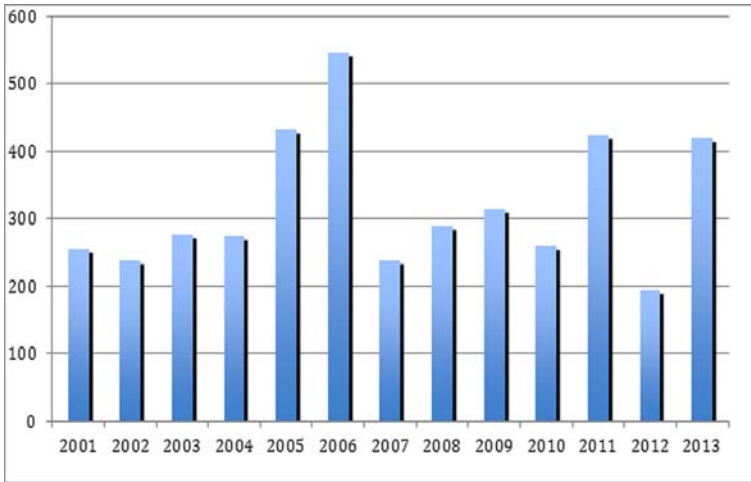


Abb. 3.2.14-4: Zahl der gemeldeten FSME-Erkrankungen in Deutschland von 2001 bis 2013 (SurvStat; RKI, Berlin).

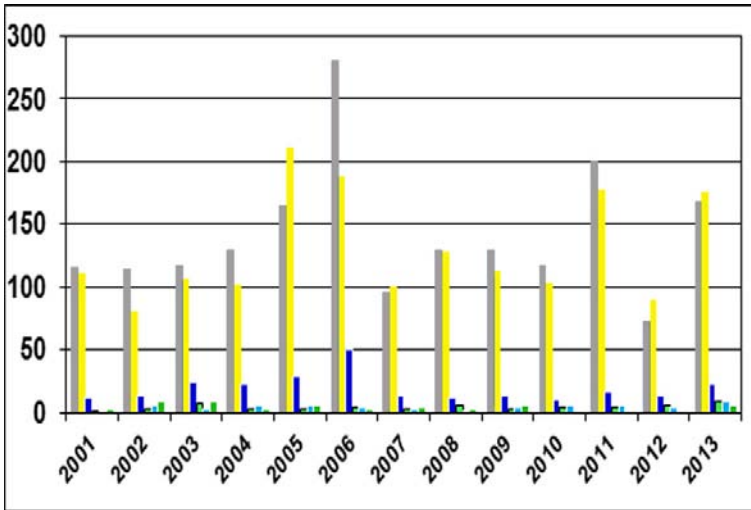


Abb. 3.2.14-5: Zahl der gemeldeten FSME-Erkrankungen in den Bundesländern Baden-Württemberg (grau Balken), Bayern (gelbe Balken), Hessen (blaue Balken) und Sachsen (grüne Balken).

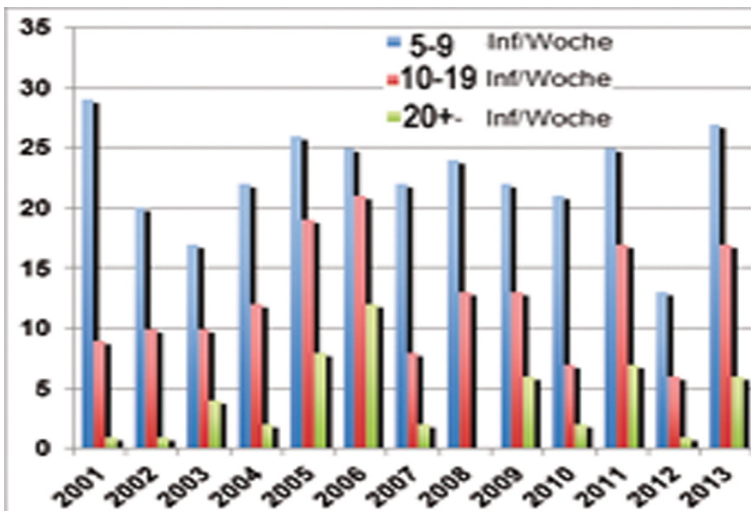


Abb. 3.2.14-6: Zahl der Wochen im jeweiligen Jahr mit 5 bis 9, 10 bis 19 und 20 oder mehr gemeldeten Erkrankungsfällen (SurvStat, RKI, Berlin) für die entsprechende Anzahl der Wochen von 2001 bis 2013.

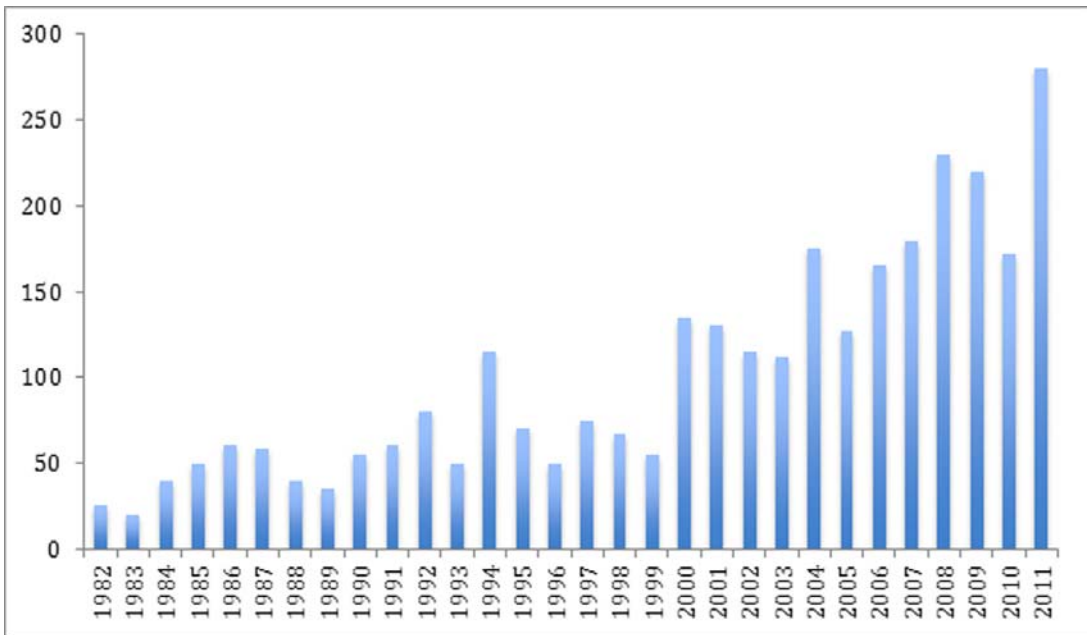


Abb. 3.2.14-7: Zahl der gemeldeten FSME-Erkrankungen in Schweden von 1992 bis 2011 (JAENSON et al. 2012).

(pers. Beobachtung). Ähnlich wie in Deutschland ist der Trend des Anstiegs der FSME-Fälle nicht durch das verstärkte Auftreten von FSME-Erkrankungen in den Randgebieten der derzeitigen Verbreitung, sondern eher durch einen Anstieg in den seit langem bekannten endemischen Regionen verursacht. Ein kürzlich durchgeführte Analyse der Situation in der Region Stockholm zeigt, dass die FSME-Erkrankung dort nicht mit Winter- oder Sommer-Wetterwerten korreliert, sondern dort vor allem mit der Hasen- und Fuchspopulation in Verbindung zu stehen scheint (PALO 2014). Neben der Zunahme der Mink-Populationen wird vor allem auch die Fluktuation der Rehwild-Population zunehmend für die hohen Zeckenzahlen und dadurch bedingt hohen Erkrankungszahlen an FSME in der Region Stockholm verantwortlich gemacht (HAEMIG et al. 2011; JAENSON et al. 2012).

Schlussbetrachtung

Wichtig ist zu erkennen, dass die natürliche Zirkulation des FSME-Virus in Naturherden und das Auftreten von menschlichen Erkrankungsfällen nur mittelbar zusammenhängen. Eine Fokussierung auf menschliche Erkrankungsfälle in Zusammenhang mit Veränderungen des Wetters oder des Klimas kann damit direkte, indirekte oder auch zufällige Korrelationen aufzeigen. Die-

se Überlegungen zeigen damit, dass bisher der Einfluss der Klimaveränderung auf die FSME in Europa unklar ist. In Mitteleuropa ist ein Effekt momentan möglicherweise in einigen Regionen in größeren Höhenlagen zu erkennen (Tschechische Republik). In allen anderen Regionen, wie z.B. auch in Nord-Deutschland oder Skandinavien (evtl. mit Ausnahme des nördlichen Teils des europäischen Teils Russlands) wird die Bedeutung der Klimaveränderung für das Auftreten von FSME-Erkrankungsfällen wohl überschätzt. Trotzdem weist das Wetter einen Einfluss auf die Tierpopulationen (Wirte, Vektoraktivität) auf. Die menschliche Aktivität und hier insbesondere Freizeit-Aktivitäten in der Natur werden durch das Wetter mitbestimmt. Ein bisher nur wenig untersuchtes Phänomen ist die Auswirkung der Artenzusammensetzung und Biodiversität auf das Auftreten von Naturherden. Auch hier ist natürlich mit Auswirkungen von Seiten des Wetters und langfristig des Klimas auszugehen. Insgesamt stellt die FSME-Naturherdübertragung ein äußerst komplexes Gespinnst verschiedenster Komponenten dar, die trotz der jahrzehntelangen Forschung bisher nur unzureichend verstanden werden. Das Wetter und darauf basierend das Klima stellt einen der Faktoren dar. Wie wichtig dieser wirklich für das FSME-Virus und seine Übertragung in der Natur ist, müssen weitere Untersuchungen erst noch zeigen.

Literatur

- ANDREASSEN, A., JORE, S., CUBER, P., DUDMAN, S., TENGS, T., ISAKSEN, K., HYGGEN, H. O., VILJUGREIN, H., ANESTAD, G., OTTESEN, P. & K. VAINIO (2012): Prevalence of tick borne encephalitis virus in tick nymphs in relation to climatic factors on the southern coast of Norway. *Parasit. Vectors.* 5, 177.
- BOLZONI, L., ROSA, R., CAGNACCI, F. & A. RIZZOLI (2012): Effect of deer density on tick infestation of rodents and the hazard of tick-borne encephalitis. II: population and infection models. *Int. J. Parasitol.* 42, 373-381.
- CAGNACCI, F., BOLZONI, L., ROSA, R., CARPI, G., HAUFFE, H. C., VALENT, M., TAGLIAPIETRA, V., KAZIMIROVA, M., KOCI, J., STANKO, M., LUKAN, M., HENTTONEN, H. & A. RIZZOLI (2012): Effects of deer density on tick infestation of rodents and the hazard of tick-borne encephalitis. I: empirical assessment. *Int. J. Parasitol.* 42, 365-372.
- DANIELOVA, V., DANIEL, M., SCHWARZOVA, L., MATERNA, J., RUDENKO, N., GOLOVCHENKO, M., HOLUBOVA, J., GRUBHOFFER, L. & P. KILIAN (2010): Integration of a tick-borne encephalitis virus and *Borrelia burgdorferi* sensu lato into mountain ecosystems, following a shift in the altitudinal limit of distribution of their vector, *Ixodes ricinus* (Krkonose mountains, Czech Republic). *Vector Borne Zoonotic Dis* 10, 223-230.
- DANIELOVA, V., HOLUBOVA, J., PEJCOCH, M. & M. DANIEL (2002): Potential significance of transovarial transmission in the circulation of tick-borne encephalitis virus. *Folia Parasitol. (Praha)*, 49, 323-325.
- DEMINA, T. V., DZHIOEV, I. U., P., KOZLOVA, I. V., VERKHOZINA, M. M., TKACHEV, S. E., DOROSHCHENKO, E. K., LISAK, O. V., PARAMONOV, A. I. & V. I. ZLOBIN (2012): [Genotypes 4 and 5 of the tick-borne encephalitis virus: features of the genome structure and possible scenario for its formation]. *Vopr. Virusol.* 57, 13-19.
- ECKER, M., ALLISON, S. L., MEIXNER, T. & F. X. HEINZ (1999): Sequence analysis and genetic classification of tick-borne encephalitis viruses from Europe and Asia. *J. Gen. Virol.* 80 (Pt 1), 179-185.
- HAEMIG, P. D., SJOSTEDT, D. E., LUNA, S., GRAFSTROM, A., LITHNER, S., LUNDKVIST, A., WALDENSTROM, J., KINDBERG, J., STEDT, J. & B. OLSEN (2011): Forecasting risk of tick-borne encephalitis (TBE): using data from wildlife and climate to predict next year's number of human victims. *Scand. J. Infect. Dis.* 43, 366-372.
- JAENSON, T. G., HJERTQVIST, M., BERGSTROM, T. & A. LUNDKVIST (2012): Why is tick-borne encephalitis increasing? A review of the key factors causing the increasing incidence of human TBE in Sweden. *Parasit. Vectors.* 5, 184.
- JOUDA, F., PERRET, J. L. & L. GERN (2004): *Ixodes ricinus* density, and distribution and prevalence of *Borrelia burgdorferi* sensu lato infection along an altitudinal gradient. *J Med Entomol* 41, 162-169.
- LABUDA, M., DANIELOVA, V., JONES, L. D. & P. A. NUTTALL (1993): Amplification of tick-borne encephalitis virus infection during co-feeding of ticks. *Med. Vet. Entomol.* 7, 339-342.
- LINDGREN, E., TALLEKLINT, L. & T. POLFELDT (2000): Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. *Environ. Health Perspect.* 108, 119-123.
- MANSFIELD, K. L., JOHNSON, N., PHIPPS, L. P., STEPHENSON, J. R., FOOKS, A.R. & T. SOLOMON (2009): Tick-borne encephalitis virus - A review of an emerging zoonosis. *J. Gen. Virol.* 90, 1781-1794.
- OSTFELD, R. S. (2009): Biodiversity loss and the rise of zoonotic pathogens. *Clin. Microbiol. Infect.* 15 Suppl. 1, 40-43.
- PALO, R. T. (2014): Tick-Borne Encephalitis Transmission Risk: Its Dependence on Host Population Dynamics and Climate Effects. *Vector Borne Zoonotic Dis.*
- RANDOLPH, S. E. (2001): The shifting landscape of tick-borne zoonoses: tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis in Europe. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 356, 1045-1056.
- SUMILO, D., ASOKLIENE, L., BORMANE, A., VASILLENKO, V., GOLOVLJOVA, I. & S. E. RANDOLPH (2007): Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. *PLoS One* 2, e500.
- TOKAREVICH, N. K., TRONIN, A. A., BLINOVA, O. V., BUZINOV, R. V., BOLTENKOV, V. P., YURASOVA, E. D. & J. NURSE (2011): The impact of climate change on the expansion of *Ixodes persulcatus* habitat and the incidence of tick-borne encephalitis in the north of European Russia. *Global health action* 4, 8448.
- WALLNER, G., MANDL, C. W., ECKER, M., HOLZMANN, H., STIASNY, K., KUNZ, C. & F. X. HEINZ (1996): Characterization and complete genome sequences of high- and low- virulence variants of tick-borne encephalitis virus. *J. Gen. Virol.* 77 (Pt 5), 1035-1042.

Kontakt:

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

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

Dobler, G. & M. Pfeffer (2014): Frühsummer-Meningoenzephalitis und Klimawandel. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen.* 2. Auflage. *Elektron. Veröffent. (Kap. 3.2.14)* - www.warnsignale.uni-hamburg.de.