

3.2.19 Klima, Nagetiere und Nagetier-assoziierte Krankheitserreger

CHRISTIAN IMHOLT, SANDRA ESSBAUER, JENS JACOB & RAINER G. ULRICH

Klima, Nagetiere und Nagetier-assoziierte Krankheitserreger: Es gibt eine Vielzahl von Nagetier-assoziierten Pathogenen, von denen einige zoonotisches Potential besitzen und schwere Erkrankungen beim Menschen auslösen können. In diesem Kapitel werden mögliche Einflüsse von Klimaänderungen auf diese Gruppe von Erregern diskutiert. Zu den wichtigen klimatischen Bedingungen gehören z.B. Extremwetterereignisse wie Überschwemmungen oder Dürreperioden, weil sie direkt oder indirekt die geographische Verbreitung und die Populationsdynamik der Kleinsäugerwirte beeinflussen. Diese Tiere werden beispielsweise durch eine geschlossene Schneedecke oder eine gut entwickelte Vegetation vor Fressfeinden geschützt. Auch ein erhöhtes Nahrungsmittelangebot, z.B. initiiert durch Überschwemmungen (Bewässerungseffekt) oder während Mastjahren, hat einen Einfluss auf die Verbreitung und die Populationsdynamik von Kleinsäufern. Als Folge kann eine erhöhte Reproduktion zu mehr Nachkommen pro Wurf oder zu einer früheren Geschlechtsreife führen, z.B. in den ersten Würfen einer Saison. Daher kann sich die Größe von Nagetierpopulationen innerhalb weniger Monate um ein Vielfaches erhöhen und sich damit das Risiko vergrößern, dass Nagetier-assoziierte Pathogene auf den Menschen übertragen werden. In manchen Regionen können Überflutungen zu einem erhöhten Infektionsrisiko beim Menschen führen, da Oberflächenwasser durch Nagetierausscheidungen kontaminiert worden ist. Außerdem dringen Nagetiere vermehrt in menschliche Behausungen ein, um vor der Überflutung Schutz zu suchen. Bei Letzterem kann dann der enge Kontakt von Tier und Mensch zu Infektionen führen. Des Weiteren können durch bestimmte klimatische Bedingungen eher Aerosole entstehen, die zu einem erhöhten Risiko der aerogenen Übertragung von Pathogenen führen. Generell ist der bisherige Kenntnisstand über den Einfluss des Klimas für viele Nagetier-assoziierte Erreger jedoch unzureichend. Daher haben wir im Jahr 2005 das Netzwerk »Nagetier-übertragene Pathogene« (NaÜPa-Net) etabliert, um Daten zur Populationsdichte von Nagetieren, der Prävalenz der assoziierten Pathogene und klimatische Bedingungen in Deutschland zu sammeln. Gegenwärtig werden zuverlässige Vorhersagemodelle für diese Gruppe von Erkrankungen entwickelt, um Risikogruppen und Behörden rechtzeitig über mögliche Gefährdungen aufklären zu können. Mit einem Frühwarnsystem könnten gezielt Krankheitsausbrüche vorhergesagt werden, womit eine deutliche Verbesserung des Schutzes der öffentlichen Gesundheit erreichbar wäre.

Climate, rodents and rodent associated pathogens: There are a variety of rodent associated pathogens, some of them showing zoonotic potential, which can cause severe diseases for human beings. In this chapter we want to discuss the examples of possible influences caused by climate changes on this group of pathogens and the frequency of these diseases in human beings. Important climate conditions are i.e. extreme weather conditions such as floods or periods of drought, because they influence directly or indirectly the population dynamics of the rodents. These animals are naturally protected from their enemies, through either a dense cover of snow or well developed vegetation. Also an increase in food supplies i.e. initiated by floods (the effect of irrigation) or during years of mast has an influence on the prevalence and population of rodents. Consequently a higher reproduction can lead to a greater number of offspring per litter or to an early pubescence, i.e. the first litter of the season. Therefore, the size of a rodent population can increase many times within a few months and with it, at the same time, the risk of rodent associated pathogens on human beings. In some areas, floods can cause an increased risk in infectious diseases in human beings, since surface water can become contaminated with rodent excrement. In addition to this rodents are more and more invading human dwellings, in order to seek protection from the flood. In the latter case the close contact between animal and human being can lead to infections. Furthermore, due to certain climate conditions particulate material can be formed, which, in turn, will lead to a higher risk of airborne infection caused by pathogens. In general it can be said that the state of knowledge about the influence of climate on many rodent associated pathogens is insufficient. This is one reason why we established in 2005 the network »Nagetier-assoziierte Pathogene« (rodents-associated pathogens) (NaÜPa-Net), in order to collect data of the density of population of rodents, the prevalence of associated pathogens and climate conditions in Germany. At present reliable prediction models are being developed for these groups of diseases, so that high-risk groups and authorities are informed in time about any possible dangers. Outbreaks of diseases could be predicted with the help of an early warning system, thus providing better protection for the public health.

Bedeutung von Nagetieren für die Gesellschaft

Über 40% der rezenten Säugetierarten gehören zur Gruppe der Nagetiere, die damit die individuenreichste Ordnung der Säugetiere ist. Nagetiere kommen – außer in der Antarktis – auf allen Kontinenten vor und sind eine hochdiverse Gruppe mit unterschiedlichen Habitatpräferenzen, Reproduktionsstrategien und Sozialsystemen. Es gibt beispielsweise terrestrische, subterrane und semiaquatische Arten bzw. hoch endemisch und kosmopolitisch vorkommende Arten. Die Nagetiere umfassen eine weite Spanne der Körpergewichte von wenigen Gramm bei Zwergmäusen (*Micromys minutus*) bis zu etwa 70 kg bei südamerikanischen Wasserschweinen (*Hydrochoerus hydrochaeris*).

Ein Großteil der Arten zählt wegen des Beitrags zu Bodenbelüftung, -düngung und Samenverbreitung zu den Nützlingen. Sie stellen eine wichtige Nahrungsgrundlage für terrestrische Prädatoren wie Mauswiesel und Greifvögel (z.B. Mäusebussard) dar. Zudem werden verlassene Nagetierbaue durch andere Wirbeltiere und Arthropoden als Behausung genutzt. In einigen Regionen der Welt werden bestimmte Nagetiere von der Bevölkerung als Nahrung konsumiert.

Etwa 5–10% der weltweit vorkommenden Nagetierarten können ernste Schäden in der Land- und Forstwirtschaft verursachen (Tab. 3.2.19-1). Die Massenvermehrung der Feldmaus (*Microtus arvalis*) Population im Jahr 2007 in Deutschland zog beispielsweise einen volkswirtschaftlichen Schaden von über 120 Millionen Euro nach sich. Nagetiere können zudem als Reservoir und Überträger von Krankheitserregern zu einem Risiko für die Gesundheit von Menschen, Haus- und Nutztieren werden (ULRICH et al. 2013).

Nagetier-assoziierte Krankheitserreger

Nagetiere sind mit einer Reihe von Pathogenen assoziiert, die zum Teil zoonotisches Potential besitzen und beim Menschen lebensbedrohende Erkrankungen auslösen können. Zu diesen Pathogenen gehören Vertreter unterschiedlicher Gruppen von Viren, Bakterien, Protozoen und anderer Parasiten (MEERBURG et

al. 2009). Tab. 3.2.19-2 gibt einen Überblick über in Deutschland meldepflichtige Nagetier-assoziierte Erkrankungen. Die Erreger unterscheiden sich nicht nur in der organismischen, strukturellen und Genomorganisation, Assoziation mit spezifischen Reservoirwirten und geographischer Verbreitung, sondern auch in den Übertragungswegen.

Grundsätzlich sind zwei Übertragungswege zu unterscheiden:

- (a) Übertragung durch direkten Kontakt mit Urin, Kot, Speichel oder anderen Körperflüssigkeiten, mit dem Fell bzw. durch Tierbiss oder Alimentation, wenn Nagetiere der menschlichen Ernährung dienen (z.B. in Afrika, Asien);
- (b) indirekte Übertragung der Erreger (i) mittels Arthropoden-Vektoren wie Zecken oder Flöhe, (ii) über Zwischenwirte wie Haus- und Nutztiere, (iii) durch Aufnahme von durch Nagetiere verunreinigte Nahrungsmittel, (iv) oder häufig durch das Einatmen kontaminierter Stäube (MILLS & CHILDS 1998).

Obwohl bereits eine breite Vielfalt Nagetier-übertragener Erreger bekannt ist, werden immer wieder neue Erreger entdeckt. So wurde in den vergangenen Jahren eine Reihe neuer Hantaviren in Nagetieren und anderen Kleinsäugetern, wie Spitzmäusen und Maulwürfen, entdeckt. Daneben wurden viele neue Erreger in Nagetieren erstmals beschrieben, deren zoonotisches Potential bisher unbekannt ist. Möglicherweise handelt es sich bei einigen dieser Erreger, wie den kürzlich in Nagetieren beschriebenen Hepaciviren, um Nagetier-spezifische Erreger mit fehlendem (oder sehr geringem) Zoonosepotential, die aber von sehr großer Bedeutung für die Entwicklung neuartiger Tiermodelle für humane Erkrankungen, wie die Hepatitis C, sind (DREXLER et al. 2013). Daneben könnten bestimmte Viren ökologische Nischen übernehmen, die bisher durch andere Viren besetzt worden waren. So wurde nach der durch sehr erfolgreiche Vakzinationskampagnen erreichten Ausrottung des humanen Pockenvirus (Variolavirus) die Impfung eingestellt, so dass der Impfstatus der menschlichen Population in den vergangenen Jahren deutlich gesunken ist. Vermutlich im Zusammenhang damit kam es in der jüngeren Vergangenheit zu eini-

Tab. 3.2.19-1: Anzahl der Nagetierarten ausgewählter Regionen mit Schadpotenzial in Land- und Forstwirtschaft bzw. mit Schutzstatus (nach SINGLETON et al. 2007).

| Kontinent/ Land | Anzahl Nagetierarten | Anzahl Arten, die wichtige Pflanzen-schädlinge sind | Anzahl der Arten mit Schutzstatus | |
|-----------------|----------------------|---|-----------------------------------|-----------|
| | | | gefährdet | unbekannt |
| Afrika | 381 | 12-20 | 60 | 11 |
| Australien | 67 | 4 | 14 | 1 |
| Europa | 61 | 5 | 4 | 0 |
| Indien | 128 | 12 | 21 | 1 |

gen Clustern von humanen Infektionen mit dem Kuhpockenvirus, einem mit dem Variolavirus verwandten Pockenvirus, das von Heimratten auf den Menschen übertragen worden ist. Möglicherweise spielen jedoch wildlebende Nagetiere, wie bestimmte Wühlmausarten, eine bedeutende Rolle in der Epidemiologie dieses Erregers (ESSBAUER et al. 2010).

Nagetierabundanz, Umweltfaktoren und Krankheitsübertragung

Die Übertragung von Krankheitserregern von Nagetieren auf den Menschen hängt stark von der Verbreitung, Dichte und Erreger-Durchseuchung der Nagetierpopulation ab. Die Populationsgröße ist hoch dynamisch und unterliegt saisonalen und mehrjährigen Schwankungen. Die saisonalen Schwankungen resultieren in einer Zunahme der Populationsgröße während der Reproduktionsperiode, wodurch im Spätsommer/Herbst Populationsmaxima erreicht werden. Mehrjährige zyklische Schwankungen der Populationsgröße sind für einige Arten beschrieben. Die Fluktuationen bei Feldmaus (*Microtus arvalis*) und Rötelmaus (*Myodes glareolus*) führen zu Bestandsschwankungen von mehreren Zeh-

nerpotenzen. Solche Zyklen entstehen durch ein komplexes Zusammenspiel aus dichteabhängigen Faktoren (Räuber, Krankheiten) sowie dichteunabhängigen Umweltfaktoren. Großflächige klimatische Veränderungen aber auch lokale Wetterereignisse können die Abundanzdynamik der Nager über verschiedene direkte oder indirekte Mechanismen beeinflussen. Kurzfristige, extreme Niederschläge oder Überschwemmungen können lokale Populationen vernichten oder Individuen zum Abwandern in benachbarte Gebiete bewegen. Längerfristige Großwetterlagen mit geschlossenen Schneedecken im Winter bieten zusätzlichen Schutz vor Prädatoren. Indirekte Wirkungen von Klimabedingungen entstehen, wenn beispielsweise die Vegetationsentwicklung, und somit das Futterangebot (Qualität und Quantität; z.B. in Mastjahren) und Deckungsmöglichkeiten, verändert werden. Verbreitung und Dynamik von Nagetieren können aber auch durch anthropogene Eingriffe, wie eine Veränderung der Landnutzung, beeinflusst werden. Beispielsweise konnte die Feldmaus in Spanien durch die Bewässerung von ariden Gebieten zur landwirtschaftlichen Nutzung ihr Verbreitungsareal während der vergangenen 25 Jahre deutlich nach Süd-

Tab. 3.2.9-2: Zahl der meldepflichtigen Nagetier-assoziierten Zoonose-Erkrankungen in Deutschland 2008-2013; Robert Koch-Institut: SurvStat, <http://www3.rki.de/SurvStat>, Datenstand: 4.6.2014.

| Erkrankung | Erreger | Anzahl gemeldeter Fälle (Inzidenz/100.000) | | | | | |
|--|--|--|---------------|----------------|---------------|----------------|---------------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 |
| A – Vektor-vermittelte Übertragung mit Nagetieren als Reservoir | | | | | | | |
| Viren | | | | | | | |
| Hirnhautentzündung (Frühsommer-Meningoenzephalitis, FSME) | FSME-Virus | 289 (0,35) | 313 (0,38) | 260 (0,32) | 424 (0,52) | 195 (0,24) | 420 (0,51) |
| Bakterien | | | | | | | |
| Hasenpest (Tularämie) | <i>Francisella tularensis</i> | 15 (0,02) | 10 (0,01) | 31 (0,04) | 17 (0,02) | 21 (0,03) | 20 (0,2) |
| Fleckfieber | <i>Rickettsia</i> spp. | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Q-Fieber ^a | <i>Coxiella burnetii</i> | 370 (0,45) | 191 (0,23) | 361 (0,44) | 285 (0,35) | 200 (0,24) | 115 (0,14) |
| B – Nagetiere als Reservoir oder Überträger | | | | | | | |
| Viren | | | | | | | |
| HFRS/NE | Hantaviren | 243 (0,3) | 181 (0,22) | 2016 (2,47) | 305 (0,37) | 2825 (3,45) | 161 (0,20) |
| Lassafieber | Lassavirus | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Bakterien | | | | | | | |
| Leptospirose | <i>Leptospira</i> spp. | 66 (0,08) | 92 (0,11) | 70 (0,09) | 51 (0,06) | 85 (0,1) | 81 (0,1) |
| Parasiten | | | | | | | |
| Echinokokkose ^b | <i>Echinococcus multilocularis</i> , <i>E. granulosus</i> | 117 (0,149) | 112 (0,14) | 123 (0,15) | 146 (0,18) | 118 (0,14) | 121 (0,15) |
| Trichinellose ^c | <i>Trichinella spiralis</i> | 1 (<0,01) | 1 (<0,01) | 3 (<0,01) | 3 (<0,01) | 2 (<0,01) | 14 (0,02) |

^a Nagetiere spielen wahrscheinlich eine untergeordnete Rolle bei der Übertragung.

^b Humane Infektion nur durch Stadien, die Endwirte (z.B. Fuchs, Marderhund) ausscheiden.

^c Nagetiere als Reservoir.

HFRS = hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom; **NE** = Nephropathia epidemica

westen ausdehnen (LUQUE-LARENA et al. 2013). Durch veränderte Umweltbedingungen kann die ökologische Kapazität ehemals ungeeigneter Regionen erhöht werden, wodurch sich Verbreitungsmuster und Abundanzdynamik von Nagetieren und damit das Infektionsrisiko durch Zoonoseerreger ändern können. Von besonderem Interesse in Bezug auf die Übertragung von Pathogenen sind Szenarien, in denen sich räumlich getrennte Populationen in ihren Dynamiken synchronisieren und es zu großflächigen Massenvermehrungen auf überregionaler Ebene kommt. Solch eine großflächige Synchronisation kann z.B. durch vergleichbare klimatische Bedingungen zustande kommen (so genannter »Moran-Effekt«). Neueste Untersuchungen zeigen, dass es durch diesen Effekt auf europäischer Ebene zur Annäherung der Dynamiken selbst zwischen verschiedenen Arten kommen kann (CORNUILLIER et al. 2013). Noch ist allerdings unklar, über welche Mechanismen die Klimaveränderungen auf die Population(en) wirken. Deshalb erscheinen längerfristige Prognosen auf Prozessebene bisher eher spekulativer Natur zu sein. Nichtsdestotrotz hat sich gezeigt, dass auch ohne die kausalen Zusammenhänge zu kennen, Wetterparameter durchaus geeignet sind, die Populationsdynamik von Kleinsäugetieren vorherzusagen (ESTHER et al. 2014)

Sofern zoonotische Erreger in Nagetierpopulationen persistieren, können sich Migrations- und Abundanzdynamik auf das Infektionsrisiko der Bevölkerung auswirken. Die Verbreitung einer Population wird durch die Habitatspezifität und -verfügbarkeit sowie durch intra- und interspezifische Konkurrenz bestimmt. Daraus resultiert, wie wahrscheinlich in einem definierten Habitat der Kontakt zwischen Individuen dieser Art bzw. assoziierten Vektoren und dem Menschen ist. Kontaktraten mit kommensalen Nagetieren wie Hausmaus (*Mus musculus*) und Wanderratte (*Rattus norvegicus*) sind hoch, für viele andere Nagetierarten jedoch eher niedrig. Hohe Kontaktraten bestehen gerade in Jahren mit hohen Dichten auch für periurbane und waldbewohnende Arten z.B. Waldmaus (*Apodemus sylvaticus*) und Rötelmaus (*Myodes glareolus*). Neben den Reservoir-assoziierten Faktoren beeinflussen weitere Faktoren die Häufigkeit und die Übertragungswahrscheinlichkeit von Zoonoseerregern. Zum Beispiel sind bestimmte Personengruppen wie Waldarbeiter, Jäger und Wildtierbiologen, die sich oft in diesen Habitaten aufhalten, besonders betroffen. Zunehmend wird auch eine Verstärkung ursprünglich ruraler Arten beobachtet. Dies führt zu einem erhöhten Infektionsrisiko in Naherholungsgebieten, wie beispielsweise Stadtwäldern. Allerdings ist der Einfluss von Umweltveränderungen auf das Vorkommen von Nagetier-assoziierten Zoonoseerregern und die Häufigkeit humaner Infek-

tionen auch im Zusammenspiel mit der allgemeinen Globalisierung zu betrachten. Im Zusammenhang mit Untersuchungen zu »emerging« Viren ist deutlich geworden, dass Eingriffe des Menschen (z.B. Eindringen in unberührte Habitats, Im-/ Export von Heim-, Haus- und wildlebenden Tieren) zum Auftreten neuartiger Infektionskrankheiten führen können.

Beispiele für den möglichen Einfluss von Klimafaktoren auf Nagetier-übertragene Krankheitserreger

Hantaviren – Einführende Übersicht

Humanpathogene Hantaviren (Familie Bunyaviridae) sind in verschiedenen Nagetierarten gefunden worden und verursachen bei diesen Reservoiren persistente, vermutlich lebenslange Infektionen. In den vergangenen Jahren wurden jedoch auch in einer großen Anzahl von Insektenfressern, wie Spitzmäusen und Maulwürfen, sowie in Fledermäusen neue Hantaviren identifiziert. Die Übertragung und Pathogenität dieser Hantaviren ist bisher unklar (SCHLEGEL et al. 2014). Die Nagetier-assoziierten Viren werden von den Reservoiren mit Exkrementen (Urin, Kot, Speichel) ausgeschieden. Zwischen Nagetieren erfolgt die Übertragung vermutlich vor allem indirekt, kann aber auch durch Biss (Sexualverhalten, Rankkämpfe) erfolgen. Der Mensch kann sich durch Inhalation Virus-haltiger Aerosole (v.a. Staub) infizieren. Jede Hantavirusart ist mit einer Reservoirart oder nah verwandten Arten einer Gattung assoziiert (Tab. 3.2.19-3). Der Verbreitung der Reservoirwirte folgend, kommen Hantaviren weltweit vor, wofür es gegenwärtig in Afrika und besonders in Australien allerdings nur wenige Belege gibt. Der Verlauf humaner Infektionen ist stark von der Virusart abhängig. In Europa und Asien vorkommende Hantaviren können zu einem Krankheitsbild führen, das als »Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom« (HFRS) bezeichnet wird. Die Letalität liegt, in Abhängigkeit vom verursachenden Virus, bei 0,1–15%. In Nord-, Mittel- und Westeuropa treten milde Verläufe des HFRS (sogenannte Nephropathia epidemica, NE) auf, die durch *Puumalavirus* (PUUV) hervorgerufen werden. Ein weiteres humanpathogenes Hantavirus ist das *Dobrava-Belgrad-Virus* (DOBV), das in drei *Apodemus*-Arten nachgewiesen worden ist, wobei die Infektionen mit den verschiedenen Genotypen des DOBV unterschiedlich schwer verlaufen (KLEMPA et al. 2013).

Im Jahr 1993 wurde in den USA ein Krankheitsbild beschrieben, das als »Hantavirales cardiopulmonales Syndrom« (HCPS) bezeichnet wird. Es wird in Nordamerika vor allem durch *Sin Nombre-Virus* (SNV) hervorgerufen und ist durch eine hohe Letalität (bis zu

Tab. 3.2.19-3: Übersicht über Hantaviren, Reservoirtiere und ihr Vorkommen in (A) Nagetieren, (B) Insektenfressern und (C) Fledermäusen.

| A) Nagetiere | | | | |
|------------------------------|--|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Virus | Reservoir | Vorkommen | Vorkommen in Deutschland | Erkrankung beim Menschen |
| <i>Sin Nombre-Virus</i> | Hirschmaus (<i>Peromyscus maniculatus</i>) | Nordamerika | - | HCPS |
| <i>Andesvirus</i> | Reisratte (<i>Oligoryzomys longicaudatus</i>) | Südamerika | - | HCPS |
| <i>Puumalavirus</i> | Rötelmaus (<i>Myodes glareolus</i>) | Europa | + | HFRS (NE) |
| <i>Tulavirus</i> | Feldmaus, Erdmaus (<i>Microtus arvalis</i> , <i>M. agrestis</i>) | Europa | + | HFRS?* |
| <i>Hantaanvirus</i> | Brandmaus (<i>Apodemus agrarius</i>) | Asien | - | HFRS |
| <i>Seoulvirus</i> | Haus-, Wanderratte (<i>Rattus rattus</i> , <i>R. norvegicus</i>) | Asien, Europa Amerika | ?** | HFRS |
| <i>Dobrava-Belgrad-Virus</i> | | | | |
| GT Kurkino | Brandmaus (<i>A. agrarius</i>) | Europa | + | HFRS |
| GT Dobrava | Gelbhalsmaus (<i>A. flavicollis</i>) | Europa | - | HFRS |
| GT Sochi | Schwarzmeerwaldmaus (<i>A. ponticus</i>) | Russland | - | HFRS |
| GT Saaremaa | Brandmaus (<i>A. agrarius</i>) | Estland (Insel Saaremaa) | - | HFRS?* |
| <i>Thailandvirus</i> | Bandikutratte (<i>Bandicota indica</i>) | Asien | - | HFRS?* |
| B) Insektenfresser | | | | |
| Virus | Reservoir | Vorkommen | Vorkommen in Deutschland | Erkrankung beim Menschen |
| <i>Thottapalayam-virus</i> | Moschusspitzmaus (<i>Suncus murinus</i>) | Asien | - | ?* |
| Seewisvirus | Waldspitzmaus (<i>Sorex araneus</i>) | Europa | + | ? |
| Asikkalavirus | Zwergspitzmaus (<i>Sorex minutus</i>) | Europa | + | ? |
| Novavirus | Europäischer Maulwurf (<i>Talpa europaea</i>) | Europa | ? | ? |
| C) Fledermäuse | | | | |
| Virus | Reservoir | Vorkommen | Vorkommen in Deutschland | Erkrankung beim Menschen |
| Longquanvirus | <i>Rhinolophus</i> spp. <i>R. affinis</i> , <i>R. sinicus</i> , <i>R. monoceros</i> | China | ?*** | ? |

* Humanpathogenität wenig oder nicht bekannt

** bei wildlebenden und Heimtier-Wanderratten in Europa, ohne Beleg humaner Virusinfektionen in Deutschland

*** *R. ferrumequinum* in Süddeutschland beschrieben (WILSON & REEDER 2005)

? nicht bekannt

GT = Genotyp

HFRS = Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom;

NE = Nephropathia epidemica, eine milde Form des HFRS

HCPS = Hantavirales cardiopulmonales Syndrom

40%) gekennzeichnet. In Südamerika wird das HCPS zumeist vom *Andesvirus* (ANDV) verursacht. Hier gibt es inzwischen Hinweise auf Mensch-zu-Mensch-Übertragungen, während bei allen anderen Hantaviren der Mensch einen Fehlwirt darstellt.

Einfluss von Wetterphänomenen auf Hantavirus-Erkrankungen in Europa

Die Nordatlantik-Oszillation (NAO) hat entscheidenden Einfluss auf das Wetter in Europa und die Atlantikküste der USA. Verschiebungen im Timing der Phasen dieser Strömung führen zu klimatischen Auswirkungen in Europa. Eine Langzeitstudie über 37 Jahre in Schweden konnte allerdings keine Verbindung zwischen der NAO und der Häufigkeit humaner HFRS-Erkrankungen feststellen (PALO 2009). Die Autoren merken an, dass die NAO als Klimazyklus womöglich zu grob sei und eher kleinskaligere Phänomene von Bedeutung sein könnten. Zur möglichen Vorhersage von Erkrankungshäufigkeiten wird die Abundanz der Rötelmäuse als einziger möglicher Faktor genannt.

Die Anzahl der HFRS/NE-Erkrankungen scheint in einigen Teilen Europas eng an die regionalen Schwankungen der Nagetierpopulationen, hauptsächlich der Rötelmaus, gebunden zu sein. In Mitteleuropa werden diese in großem Maße durch die Nahrungsverfügbarkeit bestimmt (bottom-up). In »Mastjahren« produzieren bestandsbildende Baumarten wie Buche und Eiche viele Samen. Die damit im Zusammenhang stehende starke Vermehrung der Rötelmaus im folgenden Jahr kann dann eine erhöhte Zahl von NE-Fällen nach sich ziehen. Mastjahre können durch günstige Witterungsbedingungen im Sommer des Vorjahres verursacht werden. Unter zukünftigen klimatischen Szenarien

wird eine erhöhte Frequenz an Jahren mit hohen Rötelmausdichten prognostiziert (IMHOLT et al. 2014; Abb. 3.2.19-1) und damit einhergehend ein gesteigertes Infektionsrisiko.

Im Gegensatz hierzu scheint der Einfluss des Klimas auf die Rötelmauspopulationen in Nordeuropa deutlich anders zu sein. In Nordskandinavien schwanken die Populationsdichten verschiedener Kleinsäugerarten, z.B. der Rötelmaus, in Zyklen von etwa 3–4 Jahren und werden zu einem großen Teil durch Räuber-Beute-Beziehungen hervorgerufen (top-down). Wetterparameter können allerdings auch hier auf das Infektionsrisiko der Bevölkerung wirken. Unter wechselhaften, ungünstigen Wetterbedingungen im Winter wandern viele Tiere in die Siedlungen und Häuser ein und es kommt zu einem typischen Anstieg der HFRS-Erkrankungen in den Wintermonaten (OLSSON et al. 2010).

Hantaviren - Beispiele für den Einfluss von Klimafaktoren auf die Dynamik der Nagetierpopulationen und Erkrankungshäufigkeiten

Der Zusammenhang von Hantavirusinfektionen mit dem El Niño-Phänomen, einem Klimaphänomen, das alle 5–7 Jahre im Pazifik stattfindet (siehe Kap. 1.1 - ROCKNER & JACOB - in diesem Band) ist eines der am besten untersuchten Beispiele für den Zusammenhang zwischen Wetterverhältnissen, Nagetierabundanz und Erkrankungsrate beim Menschen. Das Auftreten zahlreicher Erkrankungen, häufig so genannter »emerging diseases«, ist eng mit dem El Niño-Phänomen verbunden. Verschiedenen Ausbrüchen von HCPS-Erkrankungen gingen lange Dürreperioden mit anschließenden starken Regenfällen im milden Winter voraus. Diese klimatischen Besonderheiten führten scheinbar

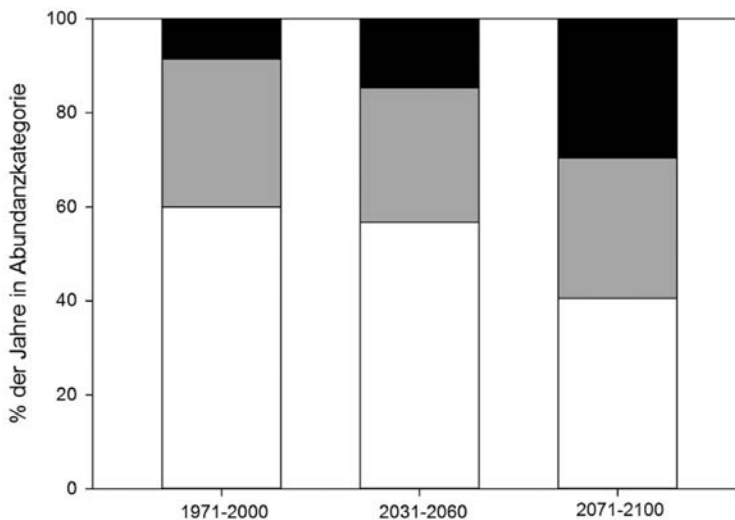


Abb. 3.2.19-1: Prozentuale Verteilung der Abundanzkategorien (Niedrig: weiß; Mittel: grau; Hoch: schwarz) der Rötelmaus (*Myodes glareolus*) in projizierten 30-Jahre-Zeiträumen (gemittelt aus 5 ENSEMBLES-Klimamodellen des Szenarios A1B) zeigt eine Zunahme der Jahre mit hohen Nagerabundanz (aus IMHOLT et al. 2014).

sowohl zu erhöhtem Reproduktionserfolg und somit einem Abundanzanstieg bei Reservoir-Nagetieren am Ende der milden Saison als auch zum Einwandern von Nagetieren in Häuser und somit zu erhöhten Kontaktraten von Nagetieren und Mensch (DEARING & DIZNEY 2010; HJELLE & TORRES-PÉREZ 2010; Tab. 3.2.19-4). In den USA und einigen südamerikanischen Ländern wurden Vorhersagemodelle entwickelt, die Satellitenbilder, Wetterbedingungen und Meldedaten über humane Erkrankungen kombinieren, um Regionen mit einem höheren Erkrankungsrisiko zu identifizieren und präventiv wirksam werden zu können (siehe * in Tab. 3.2.19-4). Ähnliches ist seit kurzem auch aus Provinzen von China bekannt, wo ebenfalls El Niño und Southern Oscillation (ENSO)-Indizes signifikant mit der Häufigkeit humaner HFRS-Fälle in Verbindung stehen (ZHANG et al. 2010). Besonders für das durch südamerikanische

Reisratten übertragene ANDV kann eine weitere geographische Ausbreitung der Reservoirwirte kritisch sein, da dieses Hantavirus auch von Mensch zu Mensch übertragbar ist.

Klimazusammenhänge für andere Zoonoseerreger mit ähnlichem Übertragungsweg

Ähnliche Abhängigkeiten zwischen Klima und Häufigkeit humaner Infektionen mit Nagetier-übertragenen Krankheitserregern werden für bestimmte Altwelt-Arenaviren (Lassafiebervirus) und Neuwelt-Arenaviren (Junin-, Machupovirus und verwandte Viren) angenommen, die ökologisch den Hantaviren ähneln (MILLS & CHILDS 1998, CLEGG 2009). Auch für die bakterielle Erkrankung Leptospirose, die in den Tropen häufig nach Überschwemmungen ausbricht, ist

Tab. 3.2.19-4: Beispiele des Einflusses klimatischer Faktoren auf HCPS- und HFRS-assoziierte Hantavirus-Infektionen in Amerika und Asien.

| Klimatischer Faktor | Geographische Region, Jahr | Ereignis | Erreger |
|---|---|---|---|
| El Niño, Anstieg der Regenfälle im Herbst-Frühjahr, 1992-1993 | Four Corner-Region/New Mexico, Utah, Arizona, USA, 1993 | HCPS-Ausbruch durch 20-fachen Anstieg der <i>Peromyscus</i> -Population | <i>Sin Nombre-Virus</i> ¹ |
| Anstieg der Regenfälle im Frühjahr, 1995-1996 | Paraguay, 1995-1996 | HCPS-Ausbruch durch rasanten Anstieg bei <i>Calomys laucha</i> | <i>Sin Nombre-Virus</i> ¹ |
| Anstieg der monatlichen Regenfälle im Herbst 1999 | Los Santos, Panama, 1999-2000 | HCPS-Ausbruch durch Populationszunahme bei <i>Oligoryzomys fulvescens</i> , <i>Zygodontomys brevicauda cherriei</i> | Choclovirus ¹ |
| Reduktion der durchschnittlichen Niederschlagsmenge, Zunahme der Erdoberflächentemperatur zwischen 1967-1998* | Patagonien, Argentinien, 1967 - 1998* | Geographische Ausbreitung von <i>Oligoryzomys longicaudatus</i> führt zu geographischer Ausbreitung von HCPS | <i>Andesvirus</i> ⁵ |
| Anstieg von monatlichen Regenfällen, 2001-2012* | Chile, 2001-2012 | HCPS-Fälle nahmen nach Regenfällen stets zu | <i>Andesvirus</i> ² |
| Hohe Maximaltemperatur in den wärmsten Monaten bzw. hohe jährliche Niederschlagsmenge, 2000-2010* | Brasilien, 2000-2010 | Populationszunahme von <i>Necromys lasiurus</i> bzw. <i>Oligoryzomys nigripes</i> | <i>Andesvirus</i> ³ |
| Hohe Winterniederschläge, gesteigerte Photosyntheserate*, 1993-2008 | Süd-Brasilien, 1993-2008 | Vermehrtes Auftreten von <i>Oligoryzomys nigripes</i> , <i>O. delticola</i> , <i>O. flavescens</i> , <i>O. eltiurus</i> | <i>Andesvirus</i> ⁴ |
| ENSO-Index mit 3-5 Monaten Zeitverzögerung Hohe Luftfeuchte und Temperatur | China, 1997-2007 | HFRS-Fälle durch vermehrtes Auftreten von <i>Apodemus agrarius</i> und <i>Rattus norvegicus</i> | <i>Hantaanvirus/Seoulvirus</i> ⁶ |

¹ nach ENGELTHALER et al. 1999, WILLIAMS et al. 1997

² nach NSOESIE et al. 2014

³ nach DE OLIVEIRA et al. 2013

⁴ nach DONALISIO & PETERSON 2011

⁵ nach CARBAJO et al. 2009

⁶ nach ZHANG et al. 2010

HFRS: Hämorrhagisches Fieber mit renalem Syndrom

HCPS: Hantavirales cardiopulmonales Syndrom

ENSO: El Niño und Southern Oscillation

der Zusammenhang mit klimatischen Faktoren untersucht worden. Ein Zusammenhang von Leptospirose-Ausbrüchen und extremen Wetterereignissen (Überschwemmungen) ist wahrscheinlich, da mit dem Urin von Nagetieren ausgeschiedene *Leptospira*-Bakterien das Wasser, den Boden und die Vegetation kontaminieren (CANN et al. 2013). Für weitere bakterielle Erreger wie *Brucella* sp. wurden weitreichende Konsequenzen des Klimawandels diskutiert, bedingt durch die Populationsdynamik vieler Paarhufer-Vektoren (HOBERG et al. 2008). Obwohl *Brucella* sp. auch in verschiedenen Nagern nachgewiesen wurde (SCHOLZ et al. 2008), ist unklar, inwieweit Abundanzschwankungen in diesem Reservoir Auswirkungen auf das Infektionsrisiko von Nutztieren und Menschen haben.

Beispiele für den Einfluss von Klimafaktoren auf Vektor-übertragene Erkrankungen mit Nagetierreservoir

Klimatische Faktoren beeinflussen durch ihre Auswirkung auf Nagetierpopulationen auch Erreger, die durch bestimmte Arthropodenarten übertragen werden. Das betrifft Arthropoden, die bei ihrer Entwicklung eine bis mehrere Blutmahlzeiten an Nagetieren einnehmen müssen. Am Beispiel der Zecken-übertragenen Enzephalitisviren (tick-borne encephalitis virus, TBEV) und der *Borrelia*-Bakterien wurde der enge Zusammenhang zwischen Nagetierreservoir, Zeckenvektor und klimatischen Faktoren untersucht (siehe Kap. 3.2.12–3.2.15 in diesem Band). In Skandinavien wurde auch eine Abhängigkeit der Inzidenz von humanen Infektionen mit dem Tularämieerreger (*Francisella tularensis*) von der Populationsdynamik von Nagetieren und von klimatischen Faktoren, wie erhöhter Sommertemperatur, diskutiert.

Der Einfluss von Klimafaktoren auf die Pest, bei der *Yersinia pestis*-Bakterien durch Flöhe von Kleinsäugetieren auf den Menschen übertragen werden, wurde umfangreich untersucht. So war es zur Zeit des »schwarzen Todes« (1280–1350) und der dritten Pest-Pandemie (1855–1870) wärmer und feuchter als im langjährigen Mittel. Es wird daher angenommen, dass die dritte Pest-Pandemie von den günstigen Klimabedingungen in Asien angetrieben wurde. Interessanterweise wurde im 20. Jahrhundert in Kasachstan beobachtet, dass die Prävalenz des Erregers in großen Rennmäusen (*Rhombomys opimus*) bei warmem Frühjahr und nassem Sommer zunimmt. Die höhere Prävalenz von *Yersinia pestis* wird bei wärmerem Frühjahr wahrscheinlich durch eine erhöhte Vektorabundanz verursacht. Vermutlich kann bereits eine Temperaturerhöhung von 1°C zu einem mehr als 50%-igen Anstieg der Prävalenz in den Tieren führen (STENSETH et al. 2006). Für die Pest wurde, wie für Hantaviren, postuliert, dass das El Nino-Phänomen im Südwesten der USA zu einem starken Anstieg der

Reservoirtierabundanz und damit der Infektionsgefährdung mit *Yersinia pestis* führen kann (ANYAMBA et al. 2006). Generell sind Pest-Epidemien in allen Endemiegebieten in Afrika, Südostasien und auch Nordamerika nach starken Regenfällen zu finden.

Ausblick

Makro- und mikroklimatische Veränderungen und extreme Wetterereignisse können die geographische Verbreitung und Abundanz von Nagetieren vielfältig beeinflussen. Ferner kann ein Klimawandel zu veränderten Übertragungswahrscheinlichkeiten von Zoonoseerregern auf den Menschen führen. Letztendlich wirkt sich auch die Lebensweise der Gesellschaft auf die Häufigkeit von Infektionen mit Zoonoseerregern aus. Insgesamt ist davon auszugehen, dass globale klimatische Veränderungen das Vorkommen und die Häufigkeit Nagetier-assoziiierter und -übertragener Krankheitserreger auch auf kontinentaler Ebene beeinflussen. Eine kontinuierliche und flächendeckende Überwachung der Wildtierpopulationen ist deshalb eine entscheidende Voraussetzung für ein rechtzeitiges Erkennen von Verschiebungen in den Ausbreitungsarealen verschiedener Zoonoseerreger und damit auch im Infektionsrisiko für Mensch und Nutztier. Im Gegensatz zu Nutztieren existiert bei Wildtieren lediglich ein Mosaik an mehr oder weniger umfassenden Monitoringprogrammen einzelner Länder (Abb. 3.2.19-2).

Neben den Problemen im Zusammenhang mit der nur schwerpunktmäßigen Erfassung einzelner Erreger, Reservoirs und Vektoren werden zusätzlich oft unterschiedliche Methoden in der Überwachung der Wildtierpopulationen und in der Erregerdiagnostik verwendet. Diese Situation mindert gegenwärtig die Möglichkeiten, die Ausbreitungswege bekannter und neuer Erreger sowie deren Reservoirs und Vektoren vergleichbar zu dokumentieren und die Infektionsgefährdung der Bevölkerung belastbar einzuschätzen und gegebenenfalls zu minimieren. Um diese Ziele zu erreichen, wäre (I) eine europaweite Harmonisierung der Abundanzschätzungen für Wildtierpopulationen sowie Probennahme und Analytik für die Erreger, (II) Training für Personal aus Ländern mit geringer Erfahrung in der Etablierung von staatlichen Monitoringprogrammen und (III) die Etablierung eines Netzwerkes zur Koordinierung dieser Aktivitäten erforderlich. So ließen sich interdisziplinäre Expertise bündeln und die Durchführung staatlicher Programme wissenschaftlich begleiten sowie Ergebnisse zentral auswerten und verfügbar machen (weitere Informationen unter: www.aphaea.eu).

Langfristige und systematische Monitoringaktivitäten erfordern eine enge Zusammenarbeit von Behör-

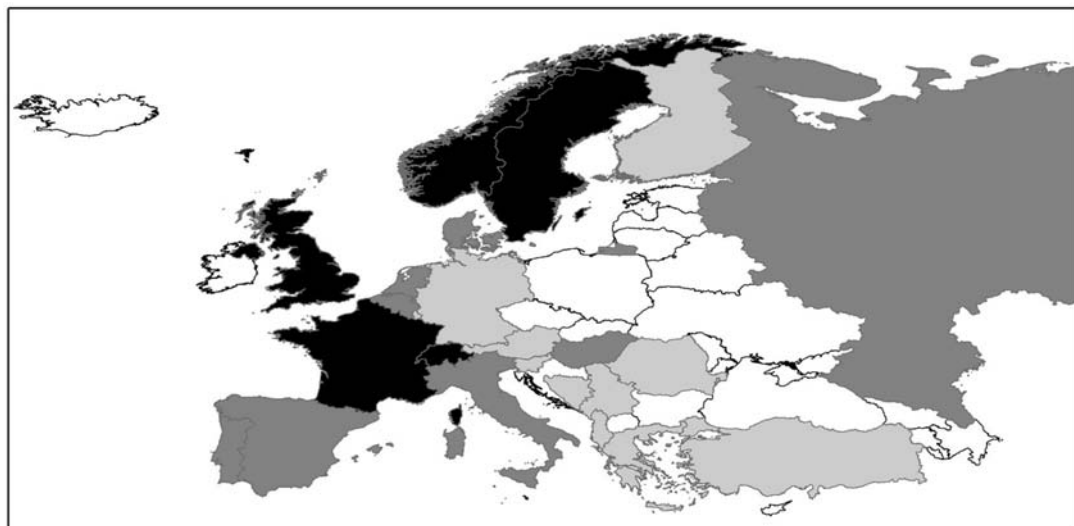


Abb.3.2.19-2: Europakarte mit der Stufe der Wildtiergesundheitsüberwachung laut einer Selbsteinschätzung von 25 Nationen. **Weiß:** keine Daten; **Schwarz:** umfassendes generelles Monitoring; **Grau:** teilweise generelles Monitoring; **Helldgrau:** kein generelles Monitoring; aber gezieltes Monitoring für einige Erreger. Daten aus KUIKEN et al. 2011; Kategorien aus LEIGHTON 1995.

den und Forschungseinrichtungen (JACOB et al. 2014). In Deutschland wurde ein vergleichbares Netzwerk für Nagetier-übertragene Krankheitserreger geschaffen (ULRICH et al. 2009). Hauptziel dieses Netzwerkes, das aus Wissenschaftlern verschiedener Expertise besteht, ist die Etablierung einer Plattform für eine verstärkte interdisziplinäre und synergistische Zusammenarbeit zu unterschiedlichen Aspekten der Biologie der Nagetiere (z.B. Ökologie, Populationsdynamik, Populationsgenetik, Paläozoologie) und Nagetier-assoziiierter Pathogene (Viren, Bakterien, Parasiten).

Literatur

- ANYAMBA, A., J. CHRETIEN, J. SMALL, C. J. TUCKER & K. J. LINTHICUM (2006): Developing global climate anomalies suggest potential disease risks for 2006–2007. *International journal of health geographics* 5(1), 60.
- CANN, K. F., D. R. THOMAS, R. L. SALMON, A. P. WYN-JONES & D. KAY (2013): Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection* 141(04), 671–686.
- CARBAJO, A. E. & P. TETA (2009): Distribution of the hantavirus reservoir *Oligoryzomys nigripes* in Argentina: choosing spatial models for the actual and potential distribution of the black-footed colilargo. *Mammalia* 73(4), 313–321.
- CLEGG, J. C. (2009): Influence of climate change on the incidence and impact of arenavirus diseases: a speculative assessment. *Clinical Microbiology and Infection* 15(6), 504–509.
- CORNULIER, T., N. G. YOCCOZ, V. BRETAGNOLLE, J. E. BROMMER, A. BUTET, F. ECKE, D. A. ELSTON, E. FRAMSTAD, H. HENTTONEN, B. HÖRNFELDT, O. HUITU, C. IMHOLT, R. A. IMS, J. JACOB, B. JEDRZEJEWSKA, A. MILLON, S. J. PETTY, H. PIETHINEN, E. TKADLEC, K. ZUB & X. LAMBIN (2013): Europe-wide dampening of population cycles in keystone herbivores. *Science* 340(6128), 63–66.
- DE OLIVEIRA, S. V., L. E. ESCOBAR, A. T. PETERSON & R. GURGEL-GONÇALVES (2013): Potential geographic distribution of hantavirus reservoirs in Brazil. *PLoS one* 8(12).
- DEARING, M. D. & L. DIZNEY (2010): Ecology of hantavirus in a changing world. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1195(1), 99–112.
- DONALISIO, M. R. & A. T. PETERSON (2011): Environmental factors affecting transmission risk for hantaviruses in forested portions of southern Brazil. *Acta Trop.* 119(2–3), 125–130.
- DREXLER, J. F., V. M. CORMAN, M. A. MUELLER, A. N. LUKASHEV, A. GMYL, B. COUTARD, A. ADAM, D. RITZ, L. M. LEIJTEN, D. VAN RIEL, R. KALLIES, S. M. KLOSE, F. GLOZA-RAUSCH, T. BINGER, A. ANNAN, Y. ADU-SARKODIE, S. OPPONG, M. BOURGAREL, D. RUPP, B. HOFFMANN, M. SCHLEGEL, B. M. KUEMMERER, D. H. KRUEGER, J. SCHMIDT-CHANASIT, A. AGUILAR SETIEN, V. M. COTTONTAIL, T. HEMACHUDHA, S. WACHARAPLUESADEE, K. OSTERRIEDER, R. BARTENSCHLAGER, S. MATTHEE, M. BEER, T. KUIKEN, C. REUSKEN, E. M. LEROY, R. G. ULRICH & C. DROSTEN (2013): Evidence for novel Hepaciviruses in rodents. *Plos Pathogens* 9(6).
- ENGELTHALER, D. M., D. G. MOSLEY, J. E. CHEEK, C. E. LEVY, K. K. KOMATSU, P. ETTESTAD, T. DAVIS, D. T. TANDA, L. MILLER, J. W. FRAMPTON, R. PORTER & R. T. BRYAN (1999): Climatic and environmental patterns associated with hantavirus pulmonary syndrome, Four Corners region, United States. *Emerging Infectious Diseases* 5(1), 87–94.
- ESSBAUER, S., M. PFEFFER & H. MEYER (2010): Zoonotic poxviruses. *Veterinary Microbiology* 140(3–4), 229–236.
- ESTHER, A., C. IMHOLT, J. PERNER, J. SCHUMACHER & J. JACOB (2014): Correlations between weather constellations and common vole (*Microtus arvalis*) densities identified by regression tree analysis. *Basic and Applied Ecology* 15(1), 75–84.

- HJELLE, B. & F. TORRES-PEREZ (2010): Hantaviruses in the Americas and their role as emerging pathogens. *Viruses-Basel* 2(12), 2559-2586.
- HOBERG, E. P., L. POLLEY, E. J. JENKINS & S. J. KUTZ (2008): Pathogens of domestic and free-ranging ungulates: global climate change in temperate to boreal latitudes across North America. *Revue scientifique et technique* 27(2), 511-528.
- IMHOLT, C., D. REIL, J. A. ECCARD, D. JACOB, N. HEMPELMANN & J. JACOB (2014): Quantifying the past and future impact of climate on outbreak patterns of bank voles (*Myodes glareolus*). *Pest management science*. DOI: 10.1002/ps.3838.
- JACOB, J., P. MANSON, R. BARFKNECHT & T. FREDRICKS (2014): Common vole (*Microtus arvalis*) ecology and management: implications for risk assessment of plant protection products. *Pest management science* 70, 769-878.
- KLEMPA, B., L. RADOSA & D. H. KRUGER (2013): The broad spectrum of hantaviruses and their hosts in Central Europe. *Acta Virologica* 57(2), 130-137.
- KUIKEN, T., M. P. RYSER-DEGIORGIS, D. GAVIER-WIDEN & C. GORTÁZAR (2011): Establishing a European network for wildlife health surveillance. *Revue Scientifique et Technique-OIE* 30(3), 755-761.
- LEIGHTON, A. (1995): Surveillance of wild animal diseases in Europe. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)* 14(3), 819-830.
- LUQUE-LARENA, J. J., F. MOUGEOT, J. VINUELA, D. JARENO, L. ARROYO, X. LAMBIN & B. ARROYO (2013): Recent large-scale range expansion and outbreaks of the common vole (*Microtus arvalis*) in NW Spain. *Basic and Applied Ecology* 14(5), 432-441.
- MEERBURG, B. G., G. R. SINGLETON & A. KIJLSTRA (2009): Rodent-borne diseases and their risks for public health. *Critical Reviews in Microbiology* 35(3), 221-270.
- MILLS, J. N. & J. E. CHILDS (1998): Ecologic studies of rodent reservoirs: Their relevance for human health. *Emerging Infectious Diseases* 4(4), 529-537.
- NSOESIE, E. O., S. R. MEKARU, N. RAMAKRISHNAN, M. V. MARATHE & J. S. BROWNSTEIN (2014): Modeling to Predict Cases of Hantavirus Pulmonary Syndrome in Chile. *PLoS neglected tropical diseases* 8(4). DOI: 10.1371/journal.pntd.0002779.
- OLSSON, G. E., H. LEIRS & H. HENTTONEN (2010): Hantaviruses and their hosts in Europe: reservoirs here and there, but not everywhere? *Vector-borne and Zoonotic Diseases* 10(6), 549-561.
- PALO, R. (2009): Time series analysis performed on nephropathia epidemica in humans of Northern Sweden in relation to bank vole population dynamic and the NAO index. *Zoonoses and Public Health* 56(3), 150-156.
- SCHLEGEL, M., J. JACOB, D. H. KRÜGER, A. RANG & R. G. ULRICH (2014): Chapter 10 - Hantavirus Emergence in Rodents, Insectivores and Bats: What Comes Next? In: Johnson N. (Hrsg.), *The Role of Animals in Emerging Viral Diseases*. Boston, Academic Press: 235-292.
- SCHOLZ, H. C., Z. HUBALEK, I. SEDLÁČEK, G. VERGNAUD, H. TOMASO, S. AL DAHOUK, F. MELZER, P. KÄMPFER, H. NEUBAUER, A. CLOECKAERT, M. MAQUART, M. S. ZYGMUNT, A. S. WHATMORE, E. FALSEN, P. BAHN, C. GÖLLNER, M. PFEFFER, B. HUBER, H. BUSSE & K. NÖCKLER (2008): *Brucella microti* sp. nov., isolated from the common vole *Microtus arvalis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* 58(2), 375-382.
- SINGLETON, G. R., P. R. BROWN, J. JACOB, K. APLIN & SUDARMAJI (2007): Unwanted and unintended effects of culling – a case for ecologically-based rodent management. *Integrative Zoology* 2(4), 247-259.
- STENSETH, N. C., N. I. SAMIA, H. VILJUGREIN, K. L. KAUSRUD, M. BEGON, S. DAVIS, H. LEIRS, V. M. DUBYANSKIY, J. ESPER, V. S. AGEYEV, N. L. KLASOVSKIY, S. B. POLE & K. S. CHAN (2006): Plague dynamics are driven by climate variation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 103(35), 13110-13115.
- ULRICH, R. G., C. IMHOLT, D. H. KRÜGER, E. KRAUTKRAEMER, T. SCHEIBE, S. S. ESSBAUER & M. PFEFFER (2013): Hantaviruses in Germany: threat for zoo, pet, companion and farm animals? *Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift* 126(11-12), 514-526.
- ULRICH, R. G., M. SCHLEGEL, J. SCHMIDT-CHANASIT, J. JACOB, J. FREISE, H. J. PELZ, M. MERTENS, M. WENK, T. BÜCHNER, D. MASUR, K. SEVKE, M. MEIER, J. THIEL, C. TRIEBENBACHER, A. BUSCHMANN, J. LANG, P. W. LÖHR, R. ALLGÖWER, P. BORKENHAGEN, T. SCHRÖDER, S. ENDEPOLS, T. HEIDECKE, I. STODIAN, O. HÜPPOP, M. HORNUNG, W. FIEDLER, F. KRÜGER, F. RÜHE, F. W. GERSTENGARBE, M. PFEFFER, W. WEGENER, M. BEMMANN, L. OHLMEYER, R. WOLF, A. GEHRKE, D. HEIDECKE, M. STUBBE, H. ZOLLER, J. KOCH, S. O. BROCKMANN, G. HECKEL & S. S. ESSBAUER (2009): Hantaviren und Nagetiere in Deutschland: Das Netzwerk »Nagetier-übertragende Pathogene«. *Mitteilungen des Julius Kühn-Instituts* 421, 76-92.
- WILLIAMS, R., R. BRYAN, J. MILLS, R. EDUARDO PALMA & I. VERA (1997): An outbreak of hantavirus pulmonary syndrome in western Paraguay. *The American journal of tropical medicine and hygiene* 57(3), 274-282.
- WILSON, D. E. & D. M. REEDER (2005): *Mammal species of the world: a taxonomic and geographic reference*. 3. Auflage. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, Maryland, USA.
- ZHANG, W., W. GUO, L. FANG, C. LI, P. BI, G. E. GLASS, J. JIANG, S. SUN, Q. QIAN, W. LIU, L. YAN, H. YANG, S. TONG & W. CAO (2010): Climate variability and hemorrhagic fever with renal syndrome transmission in Northeastern China. *Environmental Health Perspectives* 118(7), 915-920.

Anmerkungen: Weitere Referenzen können auf Anfrage bei den Verfassern erhalten werden.

Kontakt:

Dr. Christian Imholt¹ (christian.imholt@jki.bund.de)

PD Dr. Sandra Essbauer² (sandraessbauer@bundeswehr.org)

Dr. Jens Jacob¹ (jens.jacob@jki.bund.de)

PD Dr. Rainer G. Ulrich³ (rainer.ulrich@fli.bund.de)

¹ Julius Kühn-Institut, Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen, Arbeitsgruppe Wirbeltierforschung, Münster

² Institut für Mikrobiologie der Bundeswehr, Abteilung Virologie und Rickettsiologie, München

³ Friedrich-Loeffler-Institut, Bundesforschungsinstitut für Tiergesundheit, Institut für neue und neuartige Tierseuchenerreger, Greifswald - Insel Riems

Imholt, Chr., S. Essbauer, J. Jacob & R. G. Ulrich (2014): Klima, Nagetiere und Nagetier-assoziierte Krankheitserreger. In: Lozán, J. L., Grassl, H., Karbe, L. & G. Jendritzky (Hrsg.). *Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen*. 2. Auflage. Elektronische Veröffentlichung (Kap. 3.2.19) - www.warnsignale.uni-hamburg.de.