



Aus dem Veterinärreferat der Bezirkshauptmannschaft Murau¹, der Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum¹, dem Institut für artgemäße Tierhaltung und Tiergesundheit des LFZ Raumberg-Gumpenstein², dem Forschungsinstitut für Wildtierkunde und Ökologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien³, dem Institut für veterinärmedizinische Untersuchungen Mödling (AGES)⁴ und der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik⁵

Untersuchungen zur Verbreitung der Tularämie in Österreich unter dem Aspekt des Klimawandels

A. DEUTZ¹, T. GUGGENBERGER², J. GASTEINER², T. STEINECK³, Z. BAGÓ⁴, E. HOFER⁴, I. AUER⁵ und R. BÖHM⁵

eingelangt am 10.10.2007
angenommen am 13.10.2008

Schlüsselwörter: Tularämie, Feldhase, Klimawandel, Zoonose, Geoinformatik, Österreich.

Keywords: tularaemia, hare, climate change, zoonosis, geoinformatics, Austria.

Zusammenfassung

Im Untersuchungsgebiet (Niederösterreich, Burgenland, Steiermark) wurden im Zeitraum von 1994 bis 2005 insgesamt 271 Fälle von Tularämie bei Feldhasen erfasst und georeferenziert. Diese Tiere repräsentieren einen nicht bekannten Anteil an befallenen Individuen aus der Grundgesamtheit aller Feldhasen. Diese wurden für diese Arbeit nicht systematisch untersucht, da hier nicht der Befallsgrad insgesamt, sondern die Gründe für das lokal häufige Auftreten der Krankheit analysiert werden sollten. Vor allem mögliche Interaktionen zu Temperatur und Niederschlag wurden mit den lokalen Klimadaten geprüft. Für die Temperaturverteilung wurden aus den Messdaten der Klimastationen im Untersuchungsgebiet höhenabhängige Monatsmittelwerte bzw. Periodensummen berechnet. Der Niederschlag wurde ohne Einfluss der Höhe mit der geostatistischen Methode des Universal-Kriging umgesetzt. Temperatur und Niederschlag wurden in Folge für ein zweistufiges Beurteilungsverfahren verwendet. In der ersten Stufe bildeten klimatische Isolinien eine Abgrenzung des Befallsgebietes. Die räumliche Abgrenzung des Befallsgebietes in Ost- und Südösterreich konnte über die Isolinien des Jahresniederschlages (unter 720 mm), des Sommerniederschlages (unter 180 mm), der Wintertemperatur (über 0,5 °C) und der Temperatur im Mai (über 14 °C) geführt werden. Ergebnis der ersten Beurteilungsstufe war die Ausweisung der warmen und trockenen Lagen Ostösterreichs als potenzielles Befallsgebiet. In der zweiten Stufe wurden die Wirkungsweisen von Temperatur und Niederschlag innerhalb des ausgewiesenen Befallsgebietes auf die Befallshäufigkeit in den Jahren untersucht. Es zeigte sich, dass die Wintertemperatur, die Temperatur im Mai sowie der Niederschlag im Juni und Juli den Großteil der jährlichen Schwankung in der Häufigkeit der Tularämiefälle erklären. In ihrer Wirkungsweise bilden diese Parameter die Entwicklung des Feldhasenbestandes ab. Warme Winter führen zu starken Populationen. Treten im Mai kühle Temperaturen auf und regnet es im Juni und Juli vermehrt, werden die Junghasen geschwächt. Dies fördert das Auftreten der Tularämie. Für diesen Zusammenhang wurde ein lineares Regressionsmodell berechnet, welches diese Parameter als signifikant ($p < 0,05$) erkannte und ein Bestimmtheitsmaß (r^2) von 74,6 % erreichte.

Summary

Investigation of the prevalence of tularaemia under the aspect of climate change

Introduction

Wild animal habitats are greatly influenced by geographical location, structure, climate, fauna and flora and may extend deep into human settlement areas, depending on animal species. While this may be in accordance with ecological requirements, it also poses the danger of animal-human disease transmission. This research project aims at investigating the impact of climate and weather on the prevalence of tularaemia (pathogen: *Francisella tularensis*) in hare populations in the lowlands of eastern Austria.

The fundamental relationship between bacterial infectious diseases, such as tularaemia, and climate parameters can be identified by the ambient conditions required by the pathogen. Bacteria reproduce at moderate, rising temperatures, are destroyed at elevated temperatures and are resistant to cold. In addition, the population density of host animals and the abundance of potential disease vectors (ticks, gnats) also play a decisive role. The infection is transmitted to animals and humans by direct contact with infected animals and vectors, by inhalation of pathogens or the consumption of insufficiently cooked hare meat. An average of 10 to 15 human cases are recorded in Austria each year, but the number of unreported cases is likely to be far higher. The causative agent of tularaemia is also considered as a potential biological weapon due to its low infection dose and the occurrence of multiresistant strains.

Material and methods

A total of 271 cases of tularaemia in hares were recorded in the area under investigation (Lower Austria, Burgenland, Styria) in the period from 1994 to 2005 and georeferenced according to sender postcode. Temperature and precipitation data for the selected region were available from 30 weather stations of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics. This data provided the basis for calculating an altitude dependent temperature distribution for suitable monthly means and period sums. The areal distribution of precipitation was calculated using the geostatistical universal kriging method without taking the influ-

Für eine Prognose des Ausbreitungsgebietes der Tularämie im Jahr 2035 wurde eine Temperaturerhöhung zwischen 2 und 4 °C unterstellt. Unter diesen Bedingungen könnte sich die Tularämie aus dem östlichen Flachland langsam über das Donautal weiter in den Westen und über die Südsteiermark weiter in den Süden verbreiten. Zusätzlich wären Fälle in inneralpinen Gunstlagen möglich. Dies bedeutet, dass mit einer Ausweitung des potenziellen Tularämie-Verbreitungsgebietes (von dzt. 13 % auf 46,5 % der österreichischen Landesfläche) gerechnet werden muss. Eine entsprechende Information an die Risikogruppen (Jäger, Förster, Landwirte, Laborpersonal, Präparatoren, Hausfrauen u.a.), verbunden mit Verhaltensempfehlungen erscheint ratsam.

Abkürzungen: AGES = Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit; ALP-IMP = Multi-centennial climate variability in the Alps; GLM = General Linear Model; HISTALP = Historical Instrumental Climatological Surface Time Series of the Greater Alpine Region 1760-2003; ZAMG = Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik

ence of altitude into account. Those data are were used for a 2 step analysis. The first step led to boundary values for the spatial distribution of tularaemia. These boundaries were used to estimate the distribution of tularaemia until the year 2035. The second step explained the different annual incidences using actual climate data.

Results

First step - finding spatial boundary values and estimate the areal distribution of tularaemia till 2035.

A high incidence probability, based on the local isohaline encircling the study area, was obtained for annual precipitation totals below 720 mm, summer precipitation below 180 mm, winter temperatures above 0.5 °C and mean May temperatures above 14 °C (Fig. 1). These limit values allowed a calculation of the disease's spatial distribution for current and future conditions. A climate change induced warming of 2 to 4 °C was assumed for predicting the distribution area of the disease by 2035, with warming expected to be more pronounced at higher altitudes than in the lowlands. Fig. 2 shows the possible spatial distribution of tularaemia in 2035 following a rise in mean annual temperatures. Precipitation was not taken into account due to the lack of a suitable scenario. Under these conditions, tularaemia will slowly spread from the eastern lowlands via the Danube valley to the west and via southern Styria further to the south. Additional incidents of the disease could also occur in inner Alpine areas providing favourable climatic conditions.

Second step - explaining coherences between climate parameter and incidence

Inside of tularaemia zones a clear correlation was established between the climate parameters and local disease incidence, which can be represented by the following linear regression model:

Number of diseased hares/cases per year = $52.12 + 4.08 \times$ (average of monthly mean temperatures for December, January and February) - $3.46 \times$ (monthly mean temperature for May) + $0.26 \times$ (precipitation total for June and July)

This formula does not allow absolute prevalence incidence in nature to be calculated, since it is based on sample data of one specific region. Of special note, however, is the significant ($p < 0.05$) influence of the parameters selected on the incidence rate of the disease and the coefficient of determination obtained ($r^2 = 74.6\%$). It becomes clear that about $\frac{3}{4}$ of inter-year differences can be explained by temperature and precipitation conditions: warm winter temperatures result in an increase in incidence, while warm May temperatures lead to a decrease; high precipitation in summer again has an increasing effect. The ideal conditions for the spread of the disease are thus warm winters combined with cool May temperatures and low high precipitation in summer. The result represents a feasible development of hares. A warm winter increases the hare population. Cool May temperatures and wet summers degrade leverets. So tularaemia finds better conditions to increase.

Conclusion

In summary it can be stated that climate is the key parameter for explaining the distribution of tularaemia in the past and that limit values for the individual climate parameters can be identified. The expected warming could result in a massive expansion of the potential tularaemia distribution area. It would therefore be important to inform risk groups (hunters, foresters, farmers, laboratory staff,

Einleitung

Die Tularämie oder „Hasenpest“, eine bakterielle Infektionskrankheit, die auch auf den Menschen übertragbar ist, wird durch *Francisella tularensis* (*F. tularensis*) verursacht. Von *F. tularensis* sind derzeit 4 verschiedene Subspezies bekannt, die aufgrund ihrer biochemischen Eigenschaften, ihrer Epidemiologie und Virulenz unterschieden werden. Neben dem Menschen sind über 150 verschiedenen Tierarten als Wirte von *F. tularensis* bekannt. Insbesondere Hasen, Wildkaninchen, Hamster, Ratten, Mäuse, Lemminge, Eichhörnchen, Wiesel u.a. gelten als bedeutende Erregerreservoirs. Auch bei Füchsen, Bären, Kojoten, Oposums und verschiedenen Wildvogelarten wurden Infektionen mit *F. tularensis* nachgewiesen. Bei landwirtschaftlichen Nutztieren (Rind, Schaf, Schwein, Pferd) und Haustieren (Hund, Katze, Hamster) gelang ebenfalls der Erregernachweis. Flöhe, Läuse sowie Zecken und Stechfliegen können nicht nur als Erregerreservoirs, sondern auch als Überträger (Vektoren) fungieren (ELLIS et al., 2002; WEBER, 2006). Füchse können nach der Aufnahme erkrankter oder verendeter Hasen eine subakute Form der Krankheit und damit einhergehend auch Antikörper gegen *F. tularensis* ausbilden. HÖFLECHNER-PÖLTL (1999) untersuchte in ihrer Arbeit Füchse, die im Rahmen des österreichischen Tollwutbekämpfungsprogrammes eingesandt worden waren, auch auf Antikörper gegen *F. tularensis* und erkannte, dass Füchse als Indikatortiere zur Erkennung der Verbreitung der Tularämie gut geeignet sind. In Europa existieren für die Tularämie als „Naturherd-erkrankung“ seit Jahrzehnten bekannte enzootische Regionen in Österreich, der Slowakei und Tschechien, im Kosovo sowie in Italien, Spanien und Teilen Skandinaviens (HOFER et al., 1997; DEUTZ u. HINTERDORFER, 2000; DEUTZ u. KÖFER, 2000; ELLIS et al., 2002; HOFER, 2002; REINTJES et al., 2002; WINKELMAYER et al., 2005).

Im Jahre 1935 gelang dem Bakteriologen DAVID (1937, 1947) die Isolierung von *F. tularensis* (damals *Bact. tularensis*) aus den Innenorganen eines Meerschweinchens, das vom Augenarzt Pillat mit Sekret aus dem erkrankten Auge (okulo-glanduläre Form) eines als „banginfiziert“ angesehenen Mannes beimpft worden war. Damit gelang die erste bakteriologische Abklärung der Tularämie bei einem Menschen in Österreich (Marchfeld, Niederösterreich), der sich beim Abbalgen eines krank aufgefundenen Feldhasen infiziert hatte. In den Folgejahren beschrieb David das Auftreten der Tularämie bei rund 200 Personen (darunter ein Todesfall) in Form von „Lymphdrüsenentzündungen“. Das Vordringen der Tularämie nach Mitteleuropa wurde von JUSATZ (1961) auf geomedizinische Faktoren zurückgeführt. Bestimmte Landschaftsformen eignen sich besonders als Lebensraum für Erregerreservoirs der Tularämie. In Osteuropa sind dies Ratten, in Nordeuropa Lemminge und in Mittel- und Südeuropa Hasen und Wild-

taxidermists, housewives etc.) beyond current prevalence regions and recommend taking preventative measures of work hygiene (protective gloves, moistening the fur when skinning hares, insect protection, face masks in the lab) when handling hares and rodents and following good kitchen hygiene practices when preparing and cooking hares.

kaninchen, eventuell auch Bisamratten. Juszatz beschrieb weiters, dass sich die meisten Tularämie-Epidemien beim Menschen zeitlich im Anschluss an eine Vermehrung und ein Massensterben von Nagern ereignet haben. Gebiete mit jährlichen Niederschlagsmengen unter 1000 mm und steppenartige Landschaften sind nach Juszatz die Voraussetzung für das Überleben des Erregers in Naturherden. Eine Voraussetzung für das Vorkommen der Tularämie aus geomedizinischer Sicht ist, dass die Lebensbedingungen für Vektoren (Arthropoden) und für Reserviertiere (Nagetiere und Hasen) optimal sind. Steppenartige Landschaften mit niedriger Bodenbedeckung ermöglichen bei gleichzeitigen günstigen klimatischen Bedingungen eine Massenvermehrung von Feldmäusen und Feldhasen. Die Ansteckung von Tier zu Tier erfolgt hauptsächlich durch den Stich blutsaugender Arthropoden, durch direkten Kontakt einschließlich Bissverletzung sowie oral durch (mit von infizierten Nagetieren stammenden Exkrementen) kontaminiertes Futter oder Trinkwasser, durch verunreinigte Äsung, ferner durch Auffressen gefallener, gerissener oder kranker Tiere, seltener dagegen aerogen über Staub (WEBER, 2006).

Der Mensch ist sehr empfänglich gegenüber Infektionen mit *F. tularensis*. In Österreich werden jährlich ca. 10 - 15 Humanfälle von Tularämie gemeldet (STEINECK u. HOFER, 1999). Nach dem Epidemiegesetz vom 14. Oktober 1950, i.d.F. vom 24. Juli 2006, sind Verdachts-, Erkrankungs- und Todesfälle an Tularämie beim Menschen anzuzeigen, dennoch ist mit einer erheblichen Dunkelziffer an Humanfällen zu rechnen. In Deutschland wurden in den Jahren nach dem 2. Weltkrieg beim Menschen pro Jahr 100 bis 200 Tularämie-Erkrankungen gemeldet (ELSÄSSER u. HIRSCH, 1998). In den letzten Jahren wurden in Deutschland jährlich meist nur zwischen 3 und 5 Erkrankungsfälle gemeldet. 10 (9 Jäger und 1 Treiber) von den 15 gemeldeten Tularämie-Erkrankungen im Jahre 2005 waren auf einen Ausbruch unter Teilnehmern einer Hasen-Treibjagd in Südhessen zurückzuführen (HOFSTETTER et al., 2005). Die Ansteckung des Menschen erfolgt häufig durch unmittelbaren Kontakt mit Ausscheidungen, Blut oder Organen infizierter Wildtiere. Hierbei kann der Erreger nicht nur über kleinste Hautverletzungen, sondern auch über Schleimhäute (insbesondere Lidbindehäute) eindringen (WEBER, 2003) oder inhaliert werden. Ferner ist eine Infektion des Menschen mit *F. tularensis* durch Bisse oder Stiche blutsaugender Insekten möglich (ELLIS et al., 2002). Durch Verzehr von Lebensmitteln, die von infizierten Tieren stammen, kann es ebenfalls zu einer Infektion mit *F. tularensis* kommen. Eine orale Infektion ist nach Aufnahme von 10^6 Keimen möglich (KRAUSS et al., 2004). Der Erreger der Tularämie gilt als potenzielle Biowaffe und somit auch als ein bioterroristisch relevanter bakterieller Erreger, der wie *Bacillus anthracis* oder *Yersinia pestis* der Kategorie A (höchstes Gefährdungspotential) zugeordnet wird.

Das jahreszeitliche Vorkommen zeigt in Mitteleuropa einen deutlichen Schwerpunkt in den Wintermonaten. Nach einer Massenvermehrung der Reservoiertiere im Herbst kommt es bei Einbruch der kalten Jahreszeit zu vermehrtem Auftreten erkrankter Feldhasen, die aufgrund ihres veränderten Verhaltens leicht gefangen werden können. Die Infektionsgefahr des Menschen ist während der Jagdsaison im Herbst/Winter durch den direkten Kontakt mit infizierten Feldhasen ebenfalls erhöht.

Material und Methode

Im Untersuchungsgebiet (Niederösterreich, Burgenland, Steiermark) wurden im Zeitraum von 1994 bis 2005 insgesamt 271 bakteriologisch bestätigte Fälle von Tularämie bei Feldhasen erfasst und über die Einsenderpostleitzahl georeferenziert. Diese 271 diagnostizierten Fälle von Tularämie resultierten aus sämtlichen Feldhaseneinsendungen der Bundesländer Niederösterreich, Burgenland, Oberösterreich und Steiermark an die AGES Mödling, AGES Graz sowie an das Forschungsinstitut für Wildtierkunde und Ökologie der Veterinärmedizinischen Universität Wien. Zusätzlich standen für die gewählte Region die Temperatur und Niederschlagsdaten von 30 Wetterstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik zur Verfügung. Aus diesen wurde für geeignete Monatsmittelwerte bzw. Periodensummen eine höhenabhängige Temperaturverteilung berechnet. Die Flächenverteilung des Niederschlages wurde ohne Berücksichtigung des Einflusses der Höhe mit der geostatistischen Methode des Universal-Kriging berechnet. Diese Methode berechnet aus einzelnen Messpunkten (den Wetterstationen) eine stetige Oberfläche, die das gesamte Untersuchungsgebiet abdeckt. Die Ergebnisse der räumlichen Analysen von Temperatur und Niederschlag im Untersuchungszeitraum 1994 - 2005 wurden in Beziehung zu den diagnostizierten Tularämie-Fällen gesetzt. Wir sprechen hier aber immer noch von Wetter- und nicht von Klimadaten. Der Übergang von den Wetterdaten zu Klimadaten liegt in der Langjährigkeit der Beobachtungen. Der Zeitraum von 1994 bis 2005 reicht in keinem Fall aus, um hier von Klimadaten zu sprechen. Deshalb wurden Ergebnisse zweier langjähriger Projekte mit eingebunden. Der digitale Klimaatlas Österreichs wurde von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) erstellt und im Jahr 2001 in digitaler Form veröffentlicht. Im Untersuchungsgebiet Gesamtösterreich wurde eine Vielzahl von Wetterparametern erhoben und über ihre Langjährigkeit zu Klimaaussagen verwertet, wobei der Beobachtungszeitraum ca. 30 Jahre beträgt (1961-1990). Für großräumigere Projekte im Bereich des Alpenbogens eignet sich ein Rückgriff auf das länderübergreifende Projekt ALP-IMP der ZAMG. Hier wurden Wetterdaten über einen extrem langen Zeitraum (Temperatur ab 1760, Niederschlag ab 1800) gesammelt und weiterverarbeitet. Vor allem der Teilbereich HISTALP (Historical Instrumental Climatological Surface Time Series Of The Greater Alpine Region 1760-2003) stellt dabei mit seiner räumlichen Auflösung von 1° Länge und Breite für globale Übersichten ein unverzichtbares Werkzeug dar. Die Daten und alle integrierten Publikationen sind unter <http://www.zamg.ac.at/ALP-IMP/> frei zugänglich. Die genannten langfristigen Klimadaten stellen mit einem Basiszeitraum von 1960-1990 die Basis für zukünftige Prognosen dar. Auf sie werden die Ergebnisse des eher kurzfristigen Wirkungszusammen-

hangs 1994-2005 im Untersuchungszeitraum angewandt.

Die Untersuchung des Tularämiebefalles wird in 2 Untersuchungsstufen umgesetzt. In der ersten Stufe wird eine räumliche Abgrenzung allfälliger Befallsgebiete über klimatische Isolinien angestrebt. In der zweiten Stufe dienen Temperatur und Niederschlag zur Klärung der Unterschiede in der jährlichen Fallzahl innerhalb des Tularämie-Verbreitungsgebietes.

Stufe 1 - Erkennen des Tularämie-Verbreitungsgebietes

Für eine räumliche Aussage werden Grenzwerte benötigt, die als boolescher Faktor zwischen Auftreten und Nicht-Auftreten unterscheiden. Das Untersuchungsgebiet deckt mit hoher Sicherheit die derzeit von der Tularämie befallenen Regionen Österreichs ab. Es ist also sinnvoll, für die Grenzen zwischen gefährdeten und nicht gefährdeten Regionen jene klimatischen Isolinien zu bestimmen, die das Befallsgebiet vom restlichen Untersuchungsgebiet trennt (Abb. 1). Isolinien sind dabei Linien, die Orte mit gleichen Werten verbinden. Dabei wurde so vorgegangen, dass möglichst viele Tularämie-Fälle, aber auf jeden Fall alle Häufungsgebiete, im Risikobereich liegen.

Abb. 1 zeigt jene Regionen, in denen die Tularämie zwischen 1994 und 2005 aufgetreten ist. Die blauen und roten Isolinien trennen für jeden Parameter das Befallsgebiet vom Untersuchungsgebiet. Westlich der dargestellten Bezirke sind keine Tularämie-Fälle bekannt, auf deren graphische Darstellung wurde deshalb verzichtet. Die Linien folgen dabei den natürlichen Flachlandgrenzen am Rande der Ostalpen und des Waldviertels. Die empirischen Grenzwerte in Abb. 1 trennen Ostösterreich in eine wärmere und trockenere Zone im Osten und eine kühlere, feuchtere im Westen.

Stufe 2 - Klärung der jährlichen Unterschiede im Auftreten der Tularämie

Neben der Festlegung von Grenzwerten zur Bildung von Erkrankunginseln im topographischen Sinn, ist aber vor allem die Klärung signifikanter Parameter von Bedeutung. Es sollte einen gesicherter Zusammenhang zwischen den in den verschiedenen Untersuchungsjahren auftretenden Fällen und denkbaren Einflussgrößen bewiesen werden. Ein dafür ideales Werkzeug ist das General Linear Model (GLM), welches als Linearkombination einzelner Eingangswerte in der Lage ist sowohl die Gesamtqualität eines Modells als auch die Signifikanz einzelner Faktoren zu bestätigen. Darüber hinaus können auch allfällige Wechselwirkungen und Residuen untersucht werden. Das in den Ergebnissen präsentierte lineare Modell wurde mit der Software Statgraphics Plus errechnet.

Ergebnisse

In der ersten Untersuchungsstufe führte die Suche nach geeigneten Isolinien zur Abgrenzung des Untersuchungsgebietes zu folgenden Erkenntnissen: Es ergibt sich so eine hohe Wahrscheinlichkeit des Auftretens der Tularämie bei einer Jahresniederschlagssumme unter 720 mm, einem Sommerniederschlag (Juni/Juli) unter 180 mm, einer Wintertemperatur über 0,5 °C und einer Maitemperatur über 14 °C. Diese Grenzwerte ermöglichen eine Berechnung der räumlichen Ausbreitung der Infektionskrankheit unter aktuellen und zukünftigen Bedingungen.

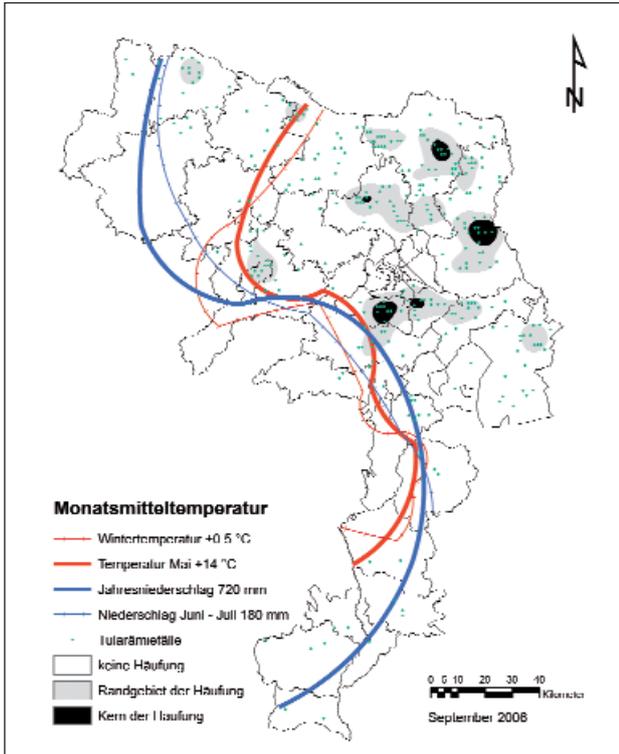


Abb. 1: Isolinien der Temperatur und Niederschlagsgrenzen

Für eine Abschätzung des Ausbreitungsgebietes im Jahr 2035 wurde eine klimawandelbedingte Erwärmung zwischen 2 und 4 °C unterstellt (KROMB-KOLB u. FORMAYER, 2005), wobei die Erwärmung in den höheren Regionen stärker ausfallen wird als im Flachland.

Abb. 2 zeigt das prognostizierte potenzielle Ausbreitungsgebiet der Tularämie im Jahr 2035 nach dem Ansteigen der Jahresmitteltemperatur. Der Niederschlag blieb mangels eines geeigneten Szenariums unberücksichtigt. Die gelb markierten Regionen zeigen dabei Gebiete in denen sowohl die Winter-, als auch die Maitemperatur den festgelegten Grenzwert bezüglich des Auftretens der Tularämie im Jahre 2005 überschreiten. Diese Gebiete decken sich weitgehend mit dem derzeitigen Ausbreitungsgebiet der Tularämie im Osten Österreichs, insgesamt sind rund 13 % (11.000 km²) der Fläche Österreichs betroffen. Die räumliche Identität bestätigt die Qualität des vorgestellten Modells. Der auch in gelb dargestellte oberösterreichische Zentralraum wurde allerdings nicht untersucht, da hier keine Daten über Erkrankungsfälle vorlagen. Die rot markierten Regionen stellen das Gefährdungsgebiet der Tularämie nach der vollständigen Realisierung der unterstellten Klimaerwärmung dar. Aus dem östlichen Flachland kann sich die Tularämie langsam über das Donautal weiter in den Westen und über die Südsteiermark weiter in den Süden verbreiten. Zusätzlich sind Fälle in inneralpinen Gunstlagen möglich. Diese Region kann dann mit 46,5 % des Bundesgebietes rund 3,5mal so groß sein wie das aktuelle Verbreitungsgebiet und fast alle Siedlungsgebiete des Menschen abdecken.

In der zweiten Untersuchungsstufe wurde aus den beiden Klimaparametern Temperatur und Niederschlag und den lokal auftretenden Erkrankungsfällen ein klarer

Zusammenhang innerhalb des Befallsgebietes ermittelt. Dieser lässt sich durch folgendes lineares Regressionsmodell darstellen:

Anzahl der Fälle pro Jahr = 52,12 + 4,08 x (Durchschnitt der Monatsmitteltemperatur Dezember, Jänner und Februar) - 3,46 x (Monatsmitteltemperatur Mai) + 0,26 x (Niederschlagssumme Juni und Juli)

Mit dieser Formel ist keine Berechnung der absoluten Inzidenzen in der Natur möglich, da sie nur die stichprobenartige Erfassung einer Region darstellt. Beachtlich ist aber der signifikante ($p < 0,05$) Einfluss der gewählten Parameter auf die Häufigkeit der Fälle und das erzielte Bestimmtheitsmaß (r^2) von 74,6 %. Es wird also deutlich, dass innerhalb des durch Isolinien abgegrenzten Befallsgebietes rund ¼ der aufgetretenen Unterschiede in der Anzahl der Fälle zwischen den Jahren durch Temperatur- und Niederschlagsverhältnisse erklärt werden können: Die Regressionskoeffizienten der vorgestellten Formel zeigen, dass innerhalb des Befallsgebietes höhere Wintertemperaturen die Häufigkeit der auftretenden Fälle steigern, während höhere Temperaturen im Mai dieses senken; vermehrte Sommerniederschläge wirken steigernd. Die Angaben stehen nicht im Widerspruch zu den Isolinien der Gebietsabgrenzung in Stufe 1, sondern klären die Zusammenhänge innerhalb des Befallsgebietes. Der Idealfall für die Verbreitung des Erregers ist also ein warmer Winter in Kombination mit einem kühlen Mai und vermehrten Niederschlägen im Sommer. Dies entspricht einer möglichen Entwicklung von Feldhasenpopulationen. In warmen Wintern überlebt eine größere Anzahl von Tieren. Niedrigere Temperaturen in der Zeit des Setzens von Junghasen und daran folgende feuchte Sommer schwächen diese Tiere. Die Tularämie kann sich stärker ausbreiten. Die Regression zeigt über die Signifikanz die Bedeutung eines Parameters, dessen Grenzwert kann aber nur am Rande des tatsächlichen Befallsgebietes abgelesen werden.

Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit decken sich mit den Erfahrungen von JUSATZ (1961), wonach die Verbreitung der Tularämie auf geomedizinische Faktoren zurückzuführen ist. So konzentriert sich das derzeitige Vorkommen der Tularämie auf steppenähnliche Gebiete mit einem Sommerniederschlag unter 180 mm und einer Jahresniederschlagssumme unter 720 mm. Niedrige Maitemperaturen und Sommerniederschläge über 180 mm innerhalb dieser Befallsgebiete steigern die Krankheitsanfälligkeit der Junghasen aus den ersten Würfen. Ein wesentlicher Einfluss dürfte in niederschlagsarmen Gebieten den hohen Hasen- und Mäusedichten zukommen. Die verwendeten Methoden sind gut geeignet, um für die Verbreitung von klimaabhängigen Krankheiten Grenzwerte zu finden und auch Prognosen aufzustellen.

Die zu erwartende Zunahme der Jahresdurchschnittstemperatur und eine - schwer zu prognostizierende Änderung der Niederschläge - könnte in den nächsten 3 Jahrzehnten zu einer massiven Ausweitung des potenziellen Tularämie-Verbreitungsgebietes führen. Es wäre daher wichtig, Risikogruppen (Jäger, Förster, Landwirte, Laborpersonal, Präparatoren, Hausfrauen u.a.) über das derzeitige Auftrittsgebiet hinaus zu informieren und ihnen als praktische Maßnahme zu empfehlen, beim Umgang mit

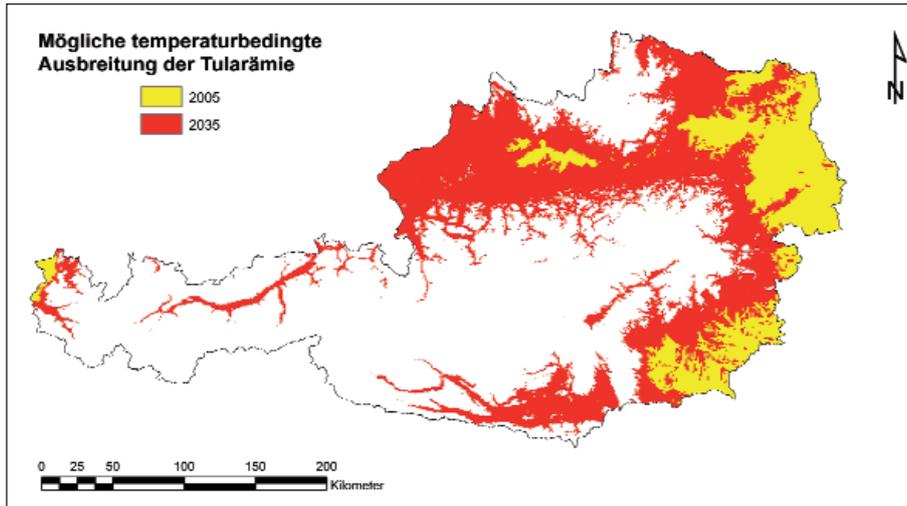


Abb. 2: Möglich Verbreitung der Tularämie im Jahr 2005 und 2035

Hasen und Nagetieren stets arbeitshygienische Vorsichtsmaßnahmen zu beachten (wie Schutzhandschuhe, Anfeuchten des Hasenbalges beim Abbalgen, Insektenschutz, Mundschutz im Labor). Bei der Zubereitung von Feldhasen sind küchenhygienische Maßnahmen zu ergreifen, und Hasenfleisch soll vollständig durchgegart werden. Jäger müssen ausgebildet und motiviert werden, beim Beobachten („Ansprechen“) und Ausweiden („Aufbrechen“, „Auswerfen“) von Wild immer auf krankhafte Veränderungen - speziell Zoonosen - zu achten und Vorbeugemaßnahmen und Verhaltensregeln zur Minimierung des Infektionsrisikos einzuhalten (DEUTZ et al., 2003 a,b): Einhalten hygienischer Grundregeln (Händewaschen nach Wildtierkontakten, sofortige Wundversorgung, Küchenhygiene), Verhinderung von Schmierinfektionen bei Wildtier- bzw. Wildfleischkontakten; zumindest bei Vorliegen von Veränderungen an erlegten Hasen sollten beim Ausweiden Handschuhe verwendet werden; beim Hantieren mit Feldhasen ist starke Staubentwicklung aus dem Haarkleid durch Anfeuchten des Balges zu vermeiden; Veränderungen an Feldhasen/Organen (Milz) sind diagnostisch abzuklären, um weitere Kenntnisse zur regionalen Verbreitung der Tularämie zu erlangen; veränderte Organe oder verendete Wildtiere sollten nicht im Revier, sondern seuchensicher entsorgt werden; kein Verfüttern roher Wildfleischabfälle an Hunde oder Katzen. Zusätzlich sollte ein effektives Informationssystem über Wildbestände und auftretende Krankheiten etabliert werden.

Außerdem darf bei Aufenthalt in Endemiegebieten kein Wasser aus Quellen oder Brunnen, die mit Exkrementen von Nagetieren kontaminiert sein können, getrunken werden. Ferner ist es angebracht, in entsprechenden Gebieten auf einen konsequenten Schutz vor Stichen durch Zecken oder anderen blutsaugenden Arthropoden, durch Tragen geeigneter Kleidung sowie Anwendung von Repellentien, zu achten. Auch bei Laboruntersuchungen von Tularämie-verdächtigem Untersuchungsmaterial müssen unbedingt entsprechende Schutzmaßnahmen (L3-Labor) eingehalten werden (KRAUSS et al., 2004). In den USA sowie in Russland existiert ein Impfstoff, im deutschsprachigen Raum jedoch ist eine Impfung nicht zugelassen (HOFER, 2002; GRUNOW u. FINKE, 2002) und wird gegenwärtig auch für nicht erforderlich gehalten (WEBER, 2003). In enzootisch verseuchten Gebieten stellt die Bekämpfung der Nagetiere in der Umgebung größerer

Haustierbestände eine sehr wichtige prophylaktische Maßnahme dar. Ferner ist die Ektoparasitenbekämpfung in gefährdeten Rinder-, Schaf- und Ziegenbeständen ebenso angebracht wie die Verhinderung der Aufnahme von Trinkwasser aus natürlichen, potentiell mit Nagetierexkrementen kontaminierten Gewässern (DEDIE et al., 1993; WEBER, 2006). Bei erkrankten prädisponierten Personen (z.B. Jäger, Laborpersonal) ist Tularämie unbedingt und ehebaldigst differentialdiagnostisch zu berücksichtigen. Mit Hilfe dieser Vorbeugemaßnahmen sollte es gelingen, in Tularämie-Risikogebieten zumindest die Infektionsraten unter Menschen zu senken und Krankheitsfälle rasch zu erkennen. Fälle bei Wildtieren sind infolge der mannigfaltigen Erregerreservoirse schwer zu bekämpfen.

Danksagung

Frau Prof. Dr. Helga Kromp-Kolb soll für die wichtigen Anregungen im Verlaufe des Projektes herzlich gedankt werden. Ebenfalls zu danken ist dem Lebensministerium (BMLFUW) sowie dem Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend für die Unterstützung dieser Untersuchungen im Rahmen von „StartClim2005“.

Literatur

- DAVID, H. (1937): Zum Auftreten der Tularämie in Österreich. Wien. Tierärztl. Mschr. **24**, 523-544.
- DAVID, H. (1947): Untersuchungen über die Tularämie in Österreich (1935-1945). Wien. Tierärztl. Mschr. **35**, 523-544.
- DEDIE, K., BOCKEMÜHL, J., KÜHN, H., VOLKMER, K. J., WEINKE, T. (1993): Bakterielle Zoonosen bei Tier und Mensch. Enke, Stuttgart.
- DEUTZ, A., HINTERDORFER, F. (2000): Krankheiten des Feldhasen (*Lepus europaeus* Pallas) - Sektionsbefunde, Erregerspektrum und zoonotische Aspekte. Tierärztl. Umschau **55**, 628-635.
- DEUTZ, A., KÖFER, J. (2000): Niederwild (Fuchs, Feldhase, Fasan, Enten) als Träger von Zoonosen. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. **113**, 401-406.
- DEUTZ, A., FUCHS, K., NOWOTNY, N., AUER, H., SCHULLER, W., STÜNZNER, D., ASPÖCK, H., KERBL, U., KÖFER, J. (2003a): Seroepidemiologische Untersuchung von Jägern auf Zoonosen - Vergleich mit Untersuchungen bei Tierärzten, Landwirten und Schlachthofarbeitern. Wien. Klin. Wschr. **115**, (Suppl. 3), 61-67.
- DEUTZ, A., FUCHS, K., SCHULLER, W., NOWOTNY, N., AUER,



- H., ASPÖCK, H., STÜNZNER, D., KERBL, U., KLEMENT, C., KÖFER, J. (2003b): Seroepidemiologische Untersuchung von Jägern auf Zoonosen in Südostösterreich - Prävalenzen, Risikopotentiale und Vorbeugemaßnahmen. Berl. Münch. Tierärztl. Wschr. **116**, 306-311.
- ELLIS, J., OYSTON, P.C.F., GREEN, M., TITBALL, R.W. (2002): Tularemia. Clin. Microbiol. Rev. **15**, 631-646.
- ELSÄSSER, J., HIRSCH, F. (1998): Tularämie. Epidemiol. Bull. Heft **44**, 312.
- GRUNOW, R., FINKE, E.-J. (2002): A procedure for differentiating between the intentional release of biological warfare agents and natural outbreaks of disease: its use in analyzing the tularemia outbreak in Kosovo in 1999 and 2000. Clin. Microbiol. Infect. **8**, 510-521.
- HOFER, E. (2002): Epidemiologie, Klinik und mikrobiologische Diagnostik der Tularämie. Antibiotika **18**, 1-9.
- HOFER, E., SCHILDORFER, H., FLATSCHER, J., MÜLLER, M. (1997): Zum Nachweis der Tularämie bei Feldhasen (*Lepus europaeus*) in Österreich. Wien. Tierärztl. Mschr. **84**, 301-306.
- HÖFLECHNER-PÖLTL, A. (1999): Epidemiologische Untersuchungen zur Tularämie und Brucellose bei Füchsen (*Vulpes vulpes*) und Feldhasen (*Lepus europaeus*) in Österreich. Diss., Vet. Med. Univ. Wien.
- HOFSTETTER, I., ECKERT, J., HAURI, A. (2005): Tularämie: Ausbruch unter Teilnehmern einer Hasen-Treibjagd im Landkreis Darmstadt-Dieburg. Epidemiol. Bull. **50**, 465-466.
- JUSATZ, H. J. (1961): Dritter Bericht über das Vordringen der Tularämie nach Mittel- und Westeuropa über den Zeitraum von 1950 bis 1960. Ztschr. Hyg. **148**, 69-93.
- KRAUSS, H., A. WEBER, M. APPEL, B. ENDERS, A. V. GRAEVENITZ, H. D. ISENBERG, H. G. SCHIEFER, W. SLENCZKA, H. ZAHNER (2004): Zoonosen - Von Tier zu Mensch übertragbare Infektionskrankheiten. 3. Aufl., Deutscher Ärzte-Verlag, Köln.
- KROMB-KOLB, H., FORMAYER, H., (2005): Schwarzbuch Klimawandel. Ecowin Verlag, Salzburg.
- REINTJES, R., DEDUSHAJ, I., GJINI, A., JORGENSEN, T.R., COTTER, B., LIEFTUCH, A., D'ANCONA, F., DENNIS, D.T., KOSOY, M.A., MULLIGI-OSMANI, G., GRUNOW, R., KALAVESHII, A., GASHI, L., HUMOLLI, I. (2002): Tularemia outbreak investigation in Kosovo: case control and environmental studies. Emerg. Inf. Dis. **8**, 69-74.
- STEINECK, T., HOFER, E. (1999): Zum Vorkommen der Tularämie in Österreich. Verh. Ber. Erkr. Zootiere **39**, 263-269.
- WEBER, A. (2003): *Francisella tularensis*. In: DARAI, G., HANDELMANN, M., HINZ, E., SONNTAG, H.-G. (Hrsg.): Lexikon der Infektionskrankheiten des Menschen, Springer Berlin, Heidelberg, S. 256-259.
- WEBER, A. (2006): Die Tularämie - eine selten diagnostizierte Zoonose? Amtstierärztl. Dienst u. Lebensmittelkontrolle **13**, 30-34.
- WINKELMAYER, R., VODNANSKY, M., PAULSEN, P., GANSTERER, A., TREML, F. (2005): Explorative study on the seroprevalence of *Brucella*-, *Francisella*-, and *Leptospira* antibodies in the European hare (*Lepus europaeus* Pallas) of Austrian - Czech border region. Wien. Tierärztl. Mschr. - Vet. Med. Austria **92**, 131-135.

Rechtsnorm

1950

Epidemiegesetz 1950, BGBl. Nr. 186 idF vom 24. Juli 2006, BGBl. Nr. 114/2006.

Anschrift der Verfasser:

OVR Univ. Doz. Dr. Armin Deutz, Mag. Thomas Guggenberger MSc, Dr. Johann Gasteiner, A-8952 Irdning; Dr. Theodora Steineck, Savoyenstraße 1, 1160 Wien; Dr. Zoltán Bagó, Dr. Erwin Hofer, Robert Koch-Gasse 17, A-2340 Mödling; Dr. Ingeborg Auer, Dr. Reinhard Böhm, Hohe Warte 38, 1190 Wien.
e-Mail: armin.deutz@stmk.gv.at