

INAUGURALDISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der

Fakultät für Gesundheitswissenschaften

der

Universität Bielefeld

vorgelegt von

Diplom-Umweltwissenschaftlerin Karen Brune

aus Gütersloh

Universität Bielefeld

Inauguraldissertation

**Endemie der
Frühsommer-Meningoenzephalitis
in Baden-Württemberg**

**Verknüpfung ökologischer und medizinisch-epidemiologischer
Daten zur Untersuchung der Ausbreitungsmechanismen von
vektorbasierten Infektionskrankheiten**

Karen Brune

Bielefeld 2014

Gutachter: Prof. Dr. Claudia Hornberg
Prof. Dr. Alexander Krämer

Gedruckt auf alterungsbeständigem Papier nach ISO 9706
Titelbild: Gemeiner Holzbock, *Ixodes ricinus* (zecken.de)

Zusammenfassung

Vektorbasierte Infektionskrankheiten stellen eine zunehmende Bedrohung für die Bevölkerung dar und werden durch eine Vielzahl unterschiedlicher Umweltfaktoren in ihrer Ausbreitung beeinflusst. Der interdisziplinäre gesundheitswissenschaftliche Ansatz ermöglicht einen vielschichtigen Blick auf die Problematik sowie die Entwicklung präventiver Lösungsstrategien. Ziel dieser Arbeit ist es, einen solchen präventiven Ansatz zu unterstützen, indem die verantwortlichen Umweltfaktoren identifiziert und ihre Einflüsse quantifiziert werden.

Hierzu wurde nach Identifizierung relevanter Umweltfaktoren zunächst ein geoadditives Poisson-Regressionsmodell verwendet, mit dem Ergebnis, dass insbesondere Niederschlag und Temperatur die Verbreitung der Frühsommer-Meningoenzephalitis beeinflussen. Mit einem geographischen Informationssystem konnte, durch eine geographisch gewichtete Regression, bestätigt werden, dass der Nadel- und Mischwaldbestand, die Feldhasenpopulation, die Übernachtungszahlen sowie die Herbsttemperatur einen risikoerhöhenden Effekt auf die Frühsommer-Meningoenzephalitis haben. Wohingegen die Fuchspopulation und die Wintertemperatur einen negativen Effekt zeigen.

Die Ergebnisse lassen erkennen, dass die Eingrenzung von bestimmten Verbreitungsparametern sehr schwierig ist, da zum einen die Zugänglichkeit bzw. Existenz des Datenmaterials unzureichend ist und zum anderen die angewendeten Methoden validere Aussagen machen würden, wenn die Anzahl der Beobachtungen größer wäre. Das ausgearbeitete Indikatorenset und die Ergebnisse der statistischen Analysen können im umweltbezogenen Gesundheitsschutz eine Risikoabschätzung von vektorbasierten Infektionskrankheiten unterstützen. So ergibt sich die Chance, Kreise mit erhöhtem Gefährdungspotential zu identifizieren und bevölkerungsbezogene Präventionsmaßnahmen zu entwickeln.

Abstract

Vector borne diseases, a growing threat to Public Health, are affected in their spreading by a variety of environmental factors. An interdisciplinary approach within Public Health allows a multi-faceted view on the problem and the development of preventive measures. This work aims to support such a preventive approach by identifying responsible environmental factors and quantifying their influences.

A geo-additive Poisson regression model was used to identify the impact of afore determined relevant environmental factors. The result shows that especially precipitation and temperature affect the distribution of tick-borne encephalitis. A geographically weighted regression within a geographic information system confirmed that the coniferous and mixed forest inventory, the hare population, the number of overnight stays as well as the autumn temperature increase the risk of tick-borne encephalitis. Whereas the fox population and the winter temperatures have a risk-reducing effect.

The results indicate that it is very difficult to confine certain spreading parameters since not only the data existence and accessibility is insufficient but the methods validity would increase with number of observations. The indicator set elaborated and the results of the statistical analysis may assist in risk assessment of vector borne diseases within the framework of environmental health. This implies the chance to identify districts with elevated risk and develop population-based preventive measures.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	18
2	Hintergrund und Ziele	22
2.1	Public Health Relevanz	22
2.1.1	Infektionskrankheiten und ihre Bedeutung für den Menschen	22
2.1.2	Globalisierung und Infektionskrankheiten	23
2.1.3	Zur Relevanz des Verständnisses ökologischer Zusammenhänge für die Gesundheitswissenschaften	24
2.1.4	Ökologische Besonderheiten von FSME und ihre Public Health Relevanz	26
2.1.5	Einführung geographischer Informationssysteme als Gewinn für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz	29
2.2	Infektionskrankheiten als interdisziplinäre Herausforderung	30
2.3	Minderung biogener, umweltbedingter Gesundheitsrisiken	33
2.4	Monitoring- und Surveillance-Systeme in der Gesundheitspolitik	35
2.5	Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit	37
3	Forschungsstand	40
3.1	FSME: Krankheitsbild, Epidemiologie und Überwachung	40
3.1.1	Krankheitsbild	40
3.1.2	Die Situation der FSME in Deutschland	41
3.2	<i>Ixodes ricinus</i>	44
3.2.1	Systematik	44
3.2.2	Geographische Verbreitung und Lebensraum	45
3.2.3	Lebenszyklus, Wirtsspektrum, Saisonale Aktivität	48
3.2.4	<i>Ixodes</i> als Vektor für FSME	50
3.3	Der Einfluss unterschiedlicher Umweltfaktoren	51
3.3.1	Klima	55
3.3.2	Urbanisierung, Landnutzung, Verhalten	60

3.3.3	Wirtsvorkommen und Biodiversität	63
3.3.4	Vegetation/Biodiversität	64
3.3.5	Auswirkungen komplexer Umweltfaktoren auf die Verbreitung von FSME bzw. <i>Ixodes ricinus</i>	66
3.4	Das FSME-Endemiegebiet Baden-Württemberg	67
3.5	Geographische Informationssysteme und VBI	68
3.5.1	Geographische Informationssysteme	68
3.5.2	Raumbezogene Analysen von VBI	71
3.5.3	Entwicklung eines Surveillance-Systems mit Hilfe eines GIS	75
4	Material und Methoden	78
4.1	Identifizierung benötigter Datensätze anhand der Literatur	78
4.2	Materialsammlung und -aufarbeitung	79
4.2.1	Verarbeitung der geobasierten Daten	79
4.2.2	Epidemiologische Daten und Datenquellen	80
4.2.3	Ökologische Daten und Datenquellen	83
4.2.3.1	Klimadaten	85
4.2.3.2	CORINE Land Cover Daten	91
4.2.3.3	Wuchsgebiete / Waldgesellschaften	93
4.2.3.4	Amtliche Kreisdaten	96
4.2.3.5	Wasser- und Bodenatlas Baden-Württem- berg	97
4.2.3.6	Tourismus/Übernachtungszahlen	101
4.2.3.7	Wildtier-Daten	102
4.3	Auswertungsmethoden	104
4.3.1	Regressionsanalysen	105
4.3.2	Statistische Auswertung der Daten im Rahmen einer geoadditiven Poisson-Regression	109
4.3.3	Statistische Auswertung der Daten mittels geogra- phisch gewichteter Regression	113
5	Ergebnisse	120
5.1	Ergebnisse der Literaturrecherche	120
5.2	Ergebnisse des geoadditiven Poisson-Regressionsmodells	127
5.3	Ergebnisse der geographisch gewichteten Regression	133

6	Diskussion	144
6.1	Methodendiskussion	144
6.1.1	Datensammlung und Datenverfügbarkeit	144
6.1.2	Diskussion der räumlich statistischen Verfahren und ihrer gesundheitswissenschaftlichen Nutzbarkeit . .	147
6.2	Interpretation und Diskussion der Ergebnisse	151
6.2.1	Diskussion der FSME-Inzidenz	151
6.2.2	Diskussion der räumlichen Effekte	153
6.2.3	Diskussion der Einflussgrößen	155
6.2.3.1	Nadel, Laub- und Mischwald	155
6.2.3.2	Kraut- und Strauchschicht	157
6.2.3.3	Klima	157
6.2.3.4	Feldhase	160
6.2.3.5	Fuchs	162
6.2.3.6	Übernachtung	163
6.2.3.7	Höhenstufen	164
6.2.4	Diskussion der Residuen	165
6.2.5	Diskussion der Risikoabschätzung und -prognose . .	166
6.3	Fazit und Ausblick	170

Abbildungsverzeichnis

3.1	FSME-Inzidenzen des Jahres 2012	41
3.2	FSME-Inzidenzen für die Jahre 2001 bis 2012	43
3.3	Lebenszyklus von <i>Ixodes ricinus</i>	48
3.4	VBI Episystem	52
3.5	Interaktion zwischen der Verbreitung von <i>Ixodes ricinus</i> und FSME und unterschiedlichen Umweltparametern	53
3.6	Mittlere Tagesmitteltemperatur für die Jahre 1881 - 2011 in Deutschland	56
3.7	Pathogenitätsdreieck: Zur Unterstützung der Risikoabschätzung von VBI im Zuge des globalen Wandels	61
3.8	Layer-Konzept eines GIS	71
4.1	Beispielkarten zur Darstellung des Temperaturmittels (°C) pro Landkreis in Baden-Württemberg	87
4.2	Jahreszeitliche Mittelung der Temperatur (°C) über die Jahre 2001 bis 2005	88
4.3	Beispielkarten zur Darstellung der Niederschlagsmenge (mm) in Baden-Württemberg	89
4.4	Beispielkarten zur Darstellung der Sonnenscheindauer (1/10 h) pro Landkreis in Baden-Württemberg	90
4.5	Beispielkarten zur Darstellung des Trockenheitsindex pro Landkreis in Baden-Württemberg	91
4.6	CLC2000 Daten im Originalzustand	92
4.7	Vegetation in den Landkreisen nach CLC2000	93
4.8	Höhenstufenanteile (km ²) in Baden-Württemberg pro Landkreis	95
4.9	Regionaldaten der Landkreise in Baden-Württemberg	96
4.10	Feuchtestufen pro Landkreis in Baden-Württemberg aus dem WaBoA	100
4.11	Bodenkundliche Werte aus der Bodenübersichtskarte (1:350000)	100

4.12	Übernachtungszahlen in Baden-Württemberg pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006	102
4.13	Jagdstreckenanteile einiger Wildtiere in Baden-Württemberg pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006	104
4.14	Lineare Regression	107
4.15	OLS-Zusammenfassungsbericht	116
5.1	FSME-Fallzahlen pro Landkreis von Baden-Württemberg gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006	121
5.2	FSME-Inzidenzen pro Landkreis von Baden-Württemberg in den Jahren 2002 bis 2006	126
5.3	Finales Modell ohne Jahreseffekt	131
5.4	Räumliche Effekte	132
5.5	Residuen des Poisson-Regressionsmodells	132
5.6	Residuen pro Landkreis der OLS und der GWR	138
5.7	Anteil der Kovariable Fuchs am Modell E	139
5.8	Anteil der Kovariable Nadelwald am Modell E	140
5.9	Anteil der Kovariable Mischwald am Modell E	141
5.10	Anteil der Kovariable Übernachtungszahl am Modell E	142
5.11	Anteil der Kovariable Feldhase am Modell E	142
5.12	Anteil der Kovariable Temperaturmittel im Winter am Mo- dell E	143
6.1	Abfragehäufigkeit des Suchwortes „FSME“ in Google in den Jahren 2004 bis 2012	147

Tabellenverzeichnis

3.1	Studien zum Einfluss verschiedener Umweltparameter auf <i>Ixodes ricinus</i> bzw. FSME	54
3.2	Vergleich von Vektor- und Rasterdaten im Hinblick auf die vier Strukturelemente eines GIS	70
3.3	Übersicht über einige aktuelle Review-Artikel, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf VBI bestätigen	73
4.1	Suchmatrix der verwendeten Begriffe der Literaturrecherche zu verschiedenen Themen	79
4.2	Zugrundeliegender Datenpool für die Analysen	85
4.3	Kodierung der 19 Klimahaupttypen	94
4.4	Einstufung der Bodenkundlichen Feuchtestufen nicht-hydromorpher Böden	97
4.5	Vereinfachte Ableitung der Bodenkundlichen Feuchtestufe für grundwasserbeeinflusste Böden	98
4.6	Vereinfachte Ableitung der Bodenkundlichen Feuchtestufe für Böden mit Stauwassereinfluss	99
5.1	Indikatorenset	122
5.2	Prädiktor des Startmodells und des finalen Modells	127
5.3	Übersicht der schrittweisen Modellwahl ausgehend vom Startmodell	129
5.4	Zusammenfassende Statistiken der simulierten Posteriori-Verteilungen der exponenzierten linearen Effekte des Endmodells.	130
5.5	Modelle A - E mit den dazugehörigen Kovariablen	133
5.6	Diagnostik-Werte des OLS-Startmodells mit allen Parametern	135
5.7	Ergebnisse der OLS von Modell A	135
5.8	Ergebnisse der OLS von Modell B	136
5.9	Ergebnisse der OLS von Modell C	136

5.10	Ergebnisse der OLS von Modell D	137
5.11	Ergebnisse der OLS von Modell E	137
5.12	Diagnosewerte der GWR mit Modell E	138
6.1	Gegenüberstellung der verwendeten statistischen Verfahren	148

Abkürzungsverzeichnis

AIC	Akaikes Informationskriterium (engl. Akaike's Information Criterion)
ASCII	American Standard Code for Information Interchange: Standard-Zeichenkodierung
ATKIS	Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem
BBR	Bundesamt für Raumordnung und Bauwesen
BÜK ₂₀₀	Bodenübersichtskarte 1:200.000
CDC	Centers for Disease Control and Prevention, USA
CLC	CORINE Land Cover, Projekt der Europäischen Union zur Bereitstellung von einheitlichen Daten der Bodenbedeckung für Europa
DEET	Diethyltoluamid
DIC	Devianz-Informationskriterium (engl. Deviance Information Criterion)
DLR	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt
DWD	Deutscher Wetterdienst
E ₃	European Environment and Epidemiology (E ₃) Network
ECDC	Europäisches Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (engl. European Centre for Disease Prevention and Control)

ENRICH	European Network for Research in Global Change
EOWEB	Earth Observation on the WEB
EU	Europäische Union
FSME	Frühsommer-Meningoenzephalitis (engl. Tick-borne encephalitis)
FSMEV	Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus
FVA BW	Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg
GBE	Gesundheitsberichterstattung
GDI-DE	Geodateninfrastruktur Deutschland
GFT	Google Flu Trends
GIS	Geographisches Informationssystem (engl. Geographic Information System)
GMZF	Gauss-Markov-Zufallsfelder
GPS	Global Positioning System
GWR	Geographisch gewichtete Regression (engl. Geographically Weighted Regression)
IfSG	Infektionsschutzgesetz
IgG	Immunglobulin-Klasse G
IgM	Immunglobulin-Klasse M
INSPIRE	Infrastructure for Spatial Information in the European Community
IuK	Forschungsverbund für Informations- und Kommunikationstechnik
LANDSAT	Land-use Satellite

LAZBW	Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei
LUBW	Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
MCMC	Markov-Chain-Monte-Carlo
M-eco	Medical Ecosystem
MRSA	Multi-resistenter Staphylococcus aureus
nFK	Nutzbare Feldkapazität (Bodenwasservorrat)
OLS	Methode der kleinsten Quadrate (engl. Ordinary Least Squares)
RKI	Robert Koch-Institut
RP-Freiburg	Regierungspräsidium Freiburg
SARS	Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom (engl. severe acute respiratory syndrome)
StaLa BW	Statistisches Landesamt Baden-Württemberg
TESSy	The European Surveillance System
UBA	Umweltbundesamt
uGBE	Umweltbezogene Gesundheitsberichtserstattung
UDK	Umweltdatenkatalog Baden-Württemberg
UIS BW	Umweltinformationssystem des Landes Baden-Württemberg
UM	Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
VBI	Vektorbasierte Infektionskrankheiten (engl. Vector-borne diseases)

VBORNET	European Network for Arthropod Vector Surveillance for Human Public Health
VIF	Varianzinflationsfaktor
WaBoA	Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg
WFS BW	Wildforschungsstelle des Ministeriums für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg
WHO	Weltgesundheitsorganisation (engl. World Health Organisation)
WONDER	Wide-ranging Online Data for Epidemiologic Research

1 Einleitung

Infektionskrankheiten sind eine ernstzunehmende Bedrohung für die öffentliche Gesundheit und stellen eine erhebliche Belastung für die nationale und globale Wirtschaft dar (Binder u. a., 1999; Morse, 2004). Beispielsweise starben im Jahr 2002 rund 14,7 Millionen Menschen an den Folgen von Infektionskrankheiten (WHO, 2004a). Diese werden durch das Eindringen von Krankheitserregern in den Körper verursacht, d. h. durch Aufnahme über den Mund, durch das Einatmen oder durch Insektenstiche und Wunden (Suttorp u. a., 2003). Unter den Infektionskrankheiten nehmen Zoonosen, also Infektionskrankheiten die vom Tier auf den Menschen übertragen werden, eine besondere Stellung ein. Ungefähr 60% der bekannten Infektionskrankheiten können als Zoonosen klassifiziert werden (Jones u. a., 2008; Taylor u. a., 2001). Ein Großteil dieser Zoonosen haben ihren Ursprung in der Tierwelt und es konnte ein signifikanter Anstieg von Zoonose-Infektionen in den letzten Jahren verzeichnet werden (Jones u. a., 2008). Dies verdeutlicht, dass Zoonosen eine zunehmende Bedrohung für die öffentliche und globale Gesundheit darstellen und es einer vermehrten Überwachung bedarf. Unter den Zoonosen stellen die VBI¹ eine besondere Untergruppe dar. Sie waren im letzten Jahrzehnt für ca. 28% der Fälle von neu auftretenden Infektionskrankheiten verantwortlich - mit steigender Tendenz. Hier können Klimaveränderungen einen entscheidenden Beitrag zur Erklärung dieser Tendenz leisten, da die Vektoren von VBI äußerst sensibel auf Umweltveränderungen wie z. B. Niederschlag und Temperatur sowie Unwetter reagieren. Aber auch sozio-ökonomische und andere ökologische Faktoren können hier einen entscheidenden Einfluss haben (Daszak u. a., 2001; Patz u. a., 2004; Weiss u. McMichael, 2004). Dennoch fehlen in vielen Fällen Belege für diese manchmal umstrittenen Thesen. Es bedarf weitere Analysen, die den Zusammenhang zwischen Umweltveränderungen und VBI herstellen.

Die vorliegende Arbeit setzt genau an dieser Stelle an, indem sie Aufschlüsse über den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Umweltvariablen

¹Vektorbasierte Infektionskrankheiten

und dem Auftreten der VBI FSME² gibt. Es werden Kombinationen von Umweltvariablen zusammengestellt, um zu analysieren wie gut diese Kombinationen der Umweltparameter die FSME-Fälle in Baden-Württemberg erklären können.

Die Frage inwiefern das Auftreten und die Ausbreitung von Infektionskrankheiten mit den Bedingungen in unserer Umwelt im Zusammenhang steht, beschäftigt die Menschheit schon seit Jahrtausenden. Bereits vor 2000 Jahren hat Hippokrates Überlegungen über einen möglichen Zusammenhang zwischen Umweltfaktoren und Infektionskrankheiten angestellt. Er nahm an, dass "Krankheiten [...] den Menschen nicht wie ein Blitz aus heiterem Himmel [überfallen], sondern [...] die Folgen fortgesetzter Fehler wider die Natur [sind] (Hippokrates). Viele Jahrhunderte später, im Jahr 1848/49, setzte Dr. John Snow diesen Gedankengang erfolgreich um. Er erkannte aufgrund einer Kartierung der Erkrankungsfälle, dass eine öffentliche Wasserpumpe die Infektionsquelle für einen Cholera-Ausbruch im Londoner Bezirk Soho war. Er ließ den verschmutzten Brunnen sperren und bekämpfte somit erfolgreich eine fortschreitende Infizierung der Bewohner durch verseuchtes Wasser (Snow, 1849).

Snow's Kartierung der Cholera kann man als Wurzel des modernen Health Mapping betrachten. Während für Snow's Durchbruch eine Analyse auf ein räumlich sehr begrenztes Gebiet (einen Stadtteil) ausreichend war, sind heutige Public Health Probleme oftmals wesentlich komplexer und von größerer geographischer Ausbreitung. Der weltweit verbreitete MRSA³-Erreger z. B. ist ein Keim, der u. a. Wundinfektionen und Entzündungen der Atemwege hervorruft (Lode u. a., 2010) und mit jährlich 171.000 geschätzten Krankenhausinfektionen (Benninger, 2011) eine erhebliche Herausforderung für Public Health darstellt. Die Problematik besteht nicht nur in hohen Kosten für das Gesundheitssystem z. B. durch Resistenz gegen bestimmte Antibiotika, sondern auch damit, dass in den letzten Jahren, neben einer Infektion von Mensch zu Mensch, vermehrt Fälle registriert wurden, bei denen tierische Reservoirs als Quelle identifiziert werden konnten (Köck u. a., 2011). Die früher als nosokomiale Infektion⁴ eingestufte Erkrankung weitet sich in der Allgemeinbevölkerung aus und muss nun zusätzlich den Zoonosen

²Frühsommer-Meningoenzephalitis

³Multi-resistenter Staphylococcus aureus

⁴Krankenhausinfektion

zugeordnet werden (Benninger, 2011). Die Bedeutung der Zoonosen wächst, aufgrund des Klimawandels, einer gestiegenen Mobilität sowie veränderter Rahmenbedingungen der Nutztierzucht und -haltung, stetig (Krauss u. a., 2004).

Gesundheitsexperten ist die Verbindung zwischen der Ausbreitung von Infektionskrankheiten und dem Zustand der Umwelt und deren Veränderung mittlerweile erheblich besser bekannt als zu Hippokrates oder Snow's Zeiten. Einen wesentlichen Beitrag zu diesem Fortschritt hat die Einführung der Nutzung von GIS⁵ im Public Health Bereich geleistet. GIS erlaubt die Verknüpfung von Attributinformation mit deren räumlicher Position, und stellt damit ein ausgezeichnetes Werkzeug zur Erfassung, Bearbeitung und Darstellung raumbezogener Daten dar (Jerrett u. a., 2010). Beispielsweise lassen sich Daten über die räumliche Ausbreitung von Infektionskrankheiten sowie Informationen über Eigenschaften und Veränderungen in unserer Umwelt in GIS effektiv kombinieren und überlagern, wodurch verborgene Zusammenhänge zwischen einer Krankheitsausbreitung und Umweltveränderungen aufgedeckt werden können. Damit liefert GIS einen äußerst wichtigen Bestandteil zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten.

Aus gesundheitswissenschaftlicher und gesellschaftspolitischer Sicht ist diese Entwicklung von entscheidender Bedeutung, da sie einen wichtigen Schritt zur Überwachung und Bekämpfung insbesondere neu auftretender Infektionskrankheiten darstellt. Indikatorensets, die Aufschluss über die Umwelt und ihren Wandel geben, können genutzt werden, um effektive Monitoring- bzw. Surveillancesysteme aufbauen zu können. Dafür sind die Optimierung der Parameteranzahl im Indikatorenset sowie die Evaluation geeigneter statistischer Methoden zur Analyse der Zusammenhänge von entscheidender Bedeutung. Ein solches Indikatorenset wurde in dieser Arbeit für FSME entwickelt und mit aus der Literatur bekannten Indikatorensets verglichen. Zudem wurden in dieser Arbeit zwei statistische Methoden diskutiert und zur Optimierung der Parameterzahl im Indikatorenset herangezogen.

Der Aufbau der vorliegenden Arbeit gliedert sich folgendermaßen: In Kapitel 2 wird der gesundheitswissenschaftliche Kontext der Arbeit dargestellt, indem verschiedene Ebenen des Themenkomplexes beleuchtet werden. Im Vordergrund steht dabei die interdisziplinäre Darstellung des Themenkomplexes VBI mit den Schwerpunkten GIS, ökologische Einordnung, Monitoring-

⁵Geographisches Informationssystem

systeme und Prävention. Anschließend werden die Zielsetzung der Arbeit und die Forschungsfragen ausführlich beschrieben. Das darauf folgende Kapitel 3 wendet sich dem aktuellen Forschungsstand des Themas zu. Mit dem Fokus auf den Kernthemen FSME und *Ixodes ricinus* werden neben einer Beschreibung der Verbreitung, Epidemiologie, Systematik und Lebensweise sowie der Vektorrolle, auch Umweltvariablen, die die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* beeinflussen, aufgeführt und erläutert. In Kapitel 4 wird die Vorgehensweise zur Beschaffung der Daten, das verwendete Datenmaterial sowie die statistischen Analysen detailliert beschrieben. Eine Diskussion und Interpretation der Ergebnisse (Kapitel 5) im Kontext der Literatur findet in Kapitel 6 statt. Darüber hinaus werden hier auch die Stärken und Schwächen des verwendeten Datenmaterials und der angewendeten Methoden aufgeführt. Eine Risikoabschätzung mit anschließenden Handlungsempfehlungen aus gesundheitswissenschaftlicher Perspektive sowie ein Ausblick runden die Arbeit ab.

2 Hintergrund und Ziele

2.1 Public Health Relevanz

2.1.1 Infektionskrankheiten und ihre Bedeutung für den Menschen

Infektionskrankheiten sind durch Krankheitserreger hervorgerufene Erkrankungen. Die wichtigsten Krankheitserreger sind Bakterien, Viren, Pilze, Protozoen und Prionen. Die Gefährlichkeit einer Infektionskrankheit ist abhängig von der Virulenz des Erregers. Virulenz bezeichnet die Summe aller krankmachenden Eigenschaften eines Krankheitserregers. Quantitativ stellt sie die Zahl dar, die ausreicht, um 50 % der betroffenen Lebewesen zu töten (LD₅₀) (Krauss u. a., 2004).

Die Mortalitätsstatistiken der WHO¹ zeigen, dass Infektionskrankheiten für ein Viertel aller Todesfälle verantwortlich sind (WHO, 2004b). Sie sind damit insgesamt die weltweit häufigste Todesursache. Das gesundheitsgefährdende Potential von Infektionskrankheiten wurde jedoch lange Zeit unterschätzt (Kistemann u. Exner, 2000). Infektionen können nach einer akuten Erkrankung ausheilen, akut tödlich verlaufen, primär chronisch verlaufen oder nach einer akuten Phase chronifizieren. Das erkrankte Individuum kann während bestimmter Phasen dieses Prozesses oder dauerhaft infektiös sein (Trauter u. Berger, 1993).

Die Einführung erster antibakteriell wirksamer Antibiotika und antiviraler Therapeutika sowie die Entwicklung von Impfstoffen verursachte nicht nur rückläufige Erkrankungszahlen, sondern auch eine relative Sorglosigkeit hinsichtlich des Bedrohungspotentials (Kurth, 2004). Förderlich für diese regressive Entwicklung waren auch die Verbesserung der Lebensumstände, unter anderem durch die zunehmende individuelle Hygiene sowie die verstärkte Infektionssicherheit bei Bluttransfusionen (Kistemann u. Exner, 2000). Folglich sank die Aufmerksamkeit für Infektionskrankheiten und die finanzielle Förderung der Infektionsforschung. Viele der Erreger, wie die klassischen Seuchen Cholera, Pest oder Pocken, traten jedoch in den

¹Weltgesundheitsorganisation

letzten Jahrhunderten immer wieder auf. Verschiedene Faktoren, unter anderem das Bevölkerungswachstum und die Verstädterung mit Bildung der „Megacities“, tragen zudem zum Auftreten neuer und zur Rückkehr alter Infektionskrankheiten bei (Kurth, 2004). Infektionskrankheiten stellen auch für Industrienationen ein erhebliches Public Health-Problem dar, da Morbidität und Mortalität negativ beeinflusst werden und sich daraus eine finanzielle Belastung für das Gesundheitswesen ergibt (Kistemann u. Exner, 2000).

2.1.2 Globalisierung und Infektionskrankheiten

Es ist abzusehen, dass die gesamtgesellschaftlichen Probleme durch Infektionskrankheiten, wie beispielsweise ihre verstärkte Ausbreitung und komplexe Vorhersagbarkeit, durch den zunehmenden Reise- und Handelsverkehr im Rahmen der EU-Erweiterung und der Globalisierung verstärkt werden und potenziell von hoher gesundheitspolitischer Relevanz sind. Es kann angenommen werden, dass die lokale Gesundheit heute weitgehend mit weltweiten Entwicklungen verknüpft ist, die die Gesundheit ebenso beeinflussen. Die Förderung der globalen Gesundheit ist die Aufgabe eines neuen Teils des modernen Public Health-Ansatzes (Schwartz, 2003). Dieser neue Public Health-Bereich wird als „Global Public Health“ bezeichnet und ist die gemeinsame Anstrengung der Weltwirtschaft, durch systematisches, auf die gesamte Bevölkerung und ihre Untergruppen gerichtetes Vorgehen die weltweite, durch die Liberalisierung und Globalisierung der Weltwirtschaft geförderte Verbreitung gesundheitswidriger Faktoren zu verhindern und Gesundheit zu fördern (Parker u. Sommer, 2011). Es sollte Aufgabe dieses neuen Teilbereiches sein, die globale Verknüpfung der lokalen Gesundheitsprobleme zu erkennen, z. B. die vermehrte Ausbreitung von Infektionskrankheiten aufgrund des steigenden Reise- und Handelsverkehr im Zuge der Globalisierung (Schwartz, 2003).

Die zunehmende Globalisierung hat in den letzten Jahrzehnten das ökologische Gleichgewicht verändert und die Biodiversität eingeschränkt. Neue Parasiten wurden eingeschleppt oder einheimische Erreger bzw. Überträger fanden aufgrund veränderter Umweltbedingungen verbesserte Ausbreitungsmöglichkeiten, so dass sie jetzt ein Gefahrenpotential besitzen (Lucius, 2003).

Eine Gesundheitsgefährdung durch die Störung des ökologischen Gleichgewichts kann ein weltweites Problem darstellen, mit dem sich Public Health beschäftigt. Es gehört zu den Public Health-Aufgaben, sich im Sinne der Prävention für wirksame Umweltschutzmaßnahmen einzusetzen und sich

gleichzeitig auf den Umgang mit einer klimabedingt veränderten Krankheits-situation vorzubereiten (Turnock, 2007).

In Zukunft muss mit neuartigen Infektionskrankheiten gerechnet werden. Eine Ausbreitung bekannter Erreger, auch auf noch nicht betroffene Länder, ist zu erwarten. Folgerichtig empfehlen Kurth (2003) und Eisen u. Eisen (2011) Instrumente zur Vorhersage und Bekämpfung von Epidemien zu entwickeln.

2.1.3 Zur Relevanz des Verständnisses ökologischer Zusammenhänge für die Gesundheitswissenschaften

Unter den Infektionskrankheiten des Menschen spielen besonders zoonotische Infektionen eine Rolle, über die Hälfte der meldepflichtigen Infektionskrankheiten sind Zoonosen (IfSG, 2000). Dem RKI² zufolge sind beispielsweise in Deutschland im Jahr 2008 452 Personen an Meningitis erkrankt, 44 davon sind krankheitsbedingt gestorben (RKI, 2009). Weltweit erlagen 340000 Menschen nach dem World-Health-Report „The global burden of disease: 2004 update“ der Meningitis (WHO, 2004b). Eine Abfrage der Online-Datenbank WONDER³ des CDC⁴ hat, bezüglich der Mortalität in den USA ergeben, dass zwar im Jahr 2003 bei 12 Personen „the Arthropod-borne viral encephalitis“ als Todesursache diagnostiziert wurde, bis 2009 kam diese Todesursache jedoch immer seltener vor. Dennoch zeigen diese Zahlen, dass die Problematik zoonotischer Erkrankungen eine hohe Bevölkerungsrelevanz aufweist. Möglicherweise sind größere Bevölkerungsgruppen von Zoonosen betroffen, so dass hier ein starkes Erkenntnisinteresse seitens Public Health vorliegt.

Zoonosen sind durch ein Tierreservoir und bestimmte Übertragungsmodi charakterisierte Infektionskrankheiten, die auf natürlichem Wege vom Tier (Vertebraten) auf den Menschen übertragen werden können (Alpers u. a., 2004). Die Zoonoseerreger umfassen Bakterien, Viren, Parasiten, Pilze oder andere biologische Einheiten (z. B. Prionen). Unter Reservoir werden Tiere verstanden, bei denen der Erreger unter natürlichen Bedingungen vorkommt und sich vermehrt. Je nach Erreger können die Tiere ebenfalls erkranken oder asymptomatisch infiziert sein (Hartung, 2004). Die Erreger können

²Robert Koch-Institut

³Wide-ranging Online Data for Epidemiologic Research

⁴Centers for Disease Control and Prevention, USA

entweder auf direktem Weg vom Tier auf den Menschen übertragen werden (orale Aufnahme, Inhalation, Haut- oder Schleimhautkontakt, Tierbiss) oder indirekt über Tierprodukte (vor allem Lebensmittel) und Arthropoden (u. a. Stechmücken, Zecken, Läuse). Dieser Übertragungsweg von Mensch zu Tier und andersherum wird „heterogene Infektionskette“ genannt (Hartung, 2004). „Homogene Infektionsketten“ stellen die Übertragung von Mensch zu Mensch dar. Es wird zwischen der Übertragung durch unbelebte Träger (engl. vehicle-borne), durch Stäube oder Aerosole (engl. air-borne) und durch Vektoren (engl. vector-borne) unterschieden (Vogt u. Klein, 2005). Die Gefahr der Einwanderung neuer pathogener Vektorarten (z. B. *Culex pipiens*, *Anopheles sp.*) steigt in Europa und Deutschland im Zuge der Klimaveränderung (Kosłowski u. a., 2004) und damit die Gefahr des Anstiegs korrespondierender Erkrankungen.

Neben der Häufigkeit der Erkrankungsfälle und ihrer möglicherweise hohen Letalität stellt vor allem die Überschreitung der Artengrenze von Erregern, die bisher ausschließlich oder überwiegend auf Tiere begrenzt waren, zum Menschen eine potentielle Gefährdung dar. Diese Gefahr muss durch präventive Maßnahmen abgewandt werden. Kosłowski u. a. (2004) warnen beispielsweise vor der Gefahr des möglichen Ausbruchs des Blue-Tongue-Virus (Erreger einer Tierseuche) beim Menschen, da sich nicht nur die klimatischen Bedingungen in Deutschland entsprechend entwickeln, sondern auch die Vektorarten (*Culicoides spp.*) weiter nach Norden vorstoßen und die deutschen *Culicoides*-Arten eine zunehmende Vektor-Kompetenz aufweisen. Auch das Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz belegt, dass sich der Blue-Tongue-Virus über die warmen Länder südlich des 44. Breitengrades hinaus bis hin nach Skandinavien ausbreitet (Müller u. Sauerwein, 2010).

Einige Erreger sind resistent gegenüber Umwelteinflüssen und können daher außerhalb eines Wirts in unbelebten Trägern infektiös bleiben. Durch Staub oder Aerosole können sie von dem neuen Wirt aufgenommen werden. Die vektorielle Übertragung erfolgt durch Arthropoden (Insekten und Spinnentiere) (Vogt u. Klein, 2005). Bei diesen so genannten VBI vermehrt sich der Erreger üblicherweise im Vektor. Beispiele für VBI sind Lyme-Borreliose und FSME.

2.1.4 Ökologische Besonderheiten von FSME und ihre Public Health Relevanz

FSME ist die bedeutendste virale Infektion des Zentralnervensystems, die bei Ausbruch nur symptomatisch behandelt werden kann, da es keine spezifischen Behandlungsmöglichkeiten gibt (Krauss u. a., 2004). Außerdem wird das Risiko an FSME zu erkranken leicht unterschätzt, da fiebrige Erkrankungen und Meningitis oftmals nicht mit einer Infektion durch das FSME-Virus in Zusammenhang gebracht werden (Bröker u. Gniel, 2003a).

FSME wird in Europa hauptsächlich durch die Zecke *Ixodes ricinus* übertragen (Trenkner u. Komorek, 2002). Der FSME-Erreger weist ein sehr breites Wirtsspektrum auf (z. B. Mäuse, Vögel, Eidechsen, Reh- und Rotwild, Füchse, Kaninchen sowie Haustiere wie Rinder, Schafe, Hunde und Katzen), wobei Mäuse wahrscheinlich das wesentliche Erregerreservoir darstellen (Gray, 2002). Eine weitere Besonderheit stellt die Poikilothermie von *Ixodes ricinus* dar. *Ixodes ricinus* kann die Körpertemperatur nicht konstant halten und reguliert durch einen Aufenthaltswechsel die Körpertemperatur. Seine Stechaktivität beschränkt sich auf Perioden, in denen die wöchentliche Durchschnittstemperatur zwischen 7 °C und 15 °C liegt (Krauss u. a., 2004). Folglich kann angenommen werden, dass FSME erheblich auf Umweltveränderungen reagiert (Ebert u. Fleischer, 2005).

Eine Studie von Randolph (2001) trifft die Vorhersage, dass sich der Fokus von FSME in Folge der Klimaveränderungen im Jahre 2050 nach Finnland verschoben hat und ein Rückgang in Ungarn, Kroatien und Slowenien zu erwarten ist. Folglich weist FSME eine Ausbreitungstendenz nach Norden auf. In Schweden z. B. konnte in den letzten Jahren ein Anstieg der FSME-Zahlen verzeichnet werden. Zwar schwanken die Fallzahlen von Jahr zu Jahr aufgrund der sehr trockenen Sommer in den Jahren 2009 und 2010 etwas (2007: 182 Fälle, 2008: 224 Fälle, 2009: 210 Fälle, 2010: 174 Fälle). Dennoch kommen in Schweden Jahr für Jahr immer mehr Landkreise hinzu, in denen FSME-Fälle registriert werden (Smittskyddsinstitutet, 2011).

Langfristig gesehen steigt nach Ebert u. Fleischer (2005) die Wahrscheinlichkeit, dass Klimaeinflüsse von anderen Variablen, wie Bevölkerungsdichte, Urbanisierung, Landnutzung und Mobilität des Vektors und der Wirte überlagert werden. Es wird zum Beispiel angenommen, dass eine Veränderung in der FSME-Ausbreitung auch mit der Veränderung des Freizeitverhaltens der Bevölkerung zusammenhängen könnte (Randolph, 2001). Die Bevölkerung

dringt vor allem in ihrer Freizeit verstärkt in den Lebensraum der Vektoren, beispielsweise *Ixodes ricinus*, ein, so dass sich die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Bevölkerung mit infizierten Vektoren in Kontakt kommt (Randolph, 2001). Diese Entwicklung ist auch eine Folge des Bevölkerungswachstums.

Auch der stetig zunehmende Reiseverkehr innerhalb und außerhalb Europas kann die Verbreitung von neuen VBI zusätzlich erleichtern (Odolini u. a., 2012). Zum Beispiel können heimische Zeckenarten, wie *Ixodes ricinus* mit neuen human-pathogenen Erregern infiziert werden (Stanek, 2005) und der Import neuer Vektorarten durch z. B. (Haus-)Tiertransporte oder Zugvögel ist möglich (WHO, 2004a). Außerdem wäre es möglich, dass die Verschleppung neuer Pflanzen- und Tierarten (Neobiota, „Bioinvasionen“) die herkömmliche Ausbreitungsmechanismen einheimischer VBI verändert. Beispielsweise können neue Arten ein etabliertes Räuber-Beute-Verhältnis stören und damit die Ausbreitung eines endemischen pathogenen Wirtes fördern (Pimentel, 2002). Umweltbedingungen sind in der Lage das Fress-, Jagd- oder Brutverhalten der Wirte bzw. Zwischenwirte zu ändern. Entsprechend können auch Biodiversitätsveränderungen die Verbreitung der VBI positiv sowie negativ beeinflussen (Chivian u. a., 2003).

Es ist daher von besonderer Bedeutung, neben Klimaveränderungen auch die anthropogenen Einflüsse, die auf die ökologischen vektorsteuernden Faktoren (z. B. Änderungen der Erregerpopulation, Einschleppen von neuen Erregern bzw. Vektoren) einwirken, mit einzubeziehen.

Durch die komplexen Wechselbeziehungen der Überträger und Wirte mit sich verändernden Umweltbedingungen ist das gegenwärtige Wissen bezüglich der Risikofaktoren und Vehikel der pathogenen Erreger im Rahmen von Ausbrüchen, noch lückenhaft. Es liegen zwar umfangreiche epidemiologische Daten zur Verbreitung von FSME vor und auch die Datenlage aus ökologischer Sicht ist ausreichend. Ein umfassendes Bild von ökosystemaren Zusammenhängen und Gesundheit bzw. dem Auftreten von FSME konnte bislang nur selten hergestellt werden, da die ökologischen und medizinisch-epidemiologischen Datensätze weitestgehend getrennt erfasst und analysiert wurden.

Mit dem neuen IfSG⁵ erfolgte eine Neustrukturierung und ein Ausbau der Infektionsepidemiologie. Diese ermöglicht deutlich präzisere Erhebungsmerkmale, so z. B. Informationen über mögliche Infektionsquellen, in sehr

⁵Infektionsschutzgesetz

viel differenzierterer Form als dies zuvor möglich war. Das RKI bündelt, dokumentiert und veröffentlicht in Deutschland, als oberste Gesundheitsbehörde des Bundes, Informationen zur infektiologischen Situation, gibt Empfehlungen und erarbeitet Strategien zur Seuchenbekämpfung.

Durch die zentrale Koordinierung von Datenerhebung, Analyse und Bewertung übertragbarer Krankheiten (und Zoonosen) des RKI kann der Aufbau eines infektionsepidemiologischen Informationsnetzes auf Bundesebene erstmals erreicht werden. Seit Einführung des IfSG im Jahr 2001 zählt FSME zu den meldepflichtigen Krankheiten. Es werden seitdem alle Erregernachweise u. a. von Laboratorien und Ärzten beim RKI in einer umfassenden Karte „FSME-Risikogebiete in Deutschland“ zusammengeführt, so dass regionale sowie überregionale Häufungen identifizierbar sind (Alpers u. a., 2004).

Nach diesen detaillierten, flächendeckenden Zahlen über die Erkrankungshäufigkeit wurden nach der Referenzdefinition des RKI⁶ im Jahr 2010 insgesamt 260 FSME-Erkrankungen übermittelt. Gegenüber dem Jahr 2009 (313 FSME-Erkrankungen) entsprach dies einer Abnahme um 17%. Die jährlich übermittelte Zahl der FSME-Fälle lag in den Jahren 2001 bis 2010 auf relativ stabilem Niveau zwischen 239 und 313 FSME-Fällen. Nur die Jahre 2005 und 2006, in denen mit 432 bzw. 546 Fällen ein starker Anstieg verzeichnet wurde, bildeten eine Ausnahme. Die Ergebnisse der Datenauswertung des Zeitraumes 2002 - 2010 belegen zusätzlich die Existenz größerer, weitgehend zusammenhängender FSME-Naturherde im südlichen Teil Deutschlands (RKI, 2011). In den FSME-Endemiegebieten Deutschlands sind 1% - 5% der Zecken mit dem Virus infiziert (RKI, 2005b). In Europa finden sich FSME-Endemiegebiete verstärkt in Russland, der Tschechischen Republik, Lettland, Estland und Litauen. Außerdem ist eine Ausdehnung von FSME besonders in Kroatien, Schweden, Finnland und der Slowakischen Republik zu beobachten (RKI, 2005b). Länderübergreifende Erkrankungszahlen von FSME und anderen VBI werden vom WHO Regional Office Europe, Department for Communicable Diseases, gesammelt und stellen einen weiteren umfangreichen Datenpool dar. Für Europa und Deutschland besonders relevant ist

⁶Ein Kreis wird als FSME-Risikogebiet definiert, wenn die Anzahl der übermittelten FSME-Erkrankungen in mindestens einem der Zeiträume 2002 - 2006, 2003 - 2007, 2004 - 2008, 2005 - 2009 oder 2006 - 2010 im Kreis ODER in der Kreisregion (bestehend aus dem betreffenden Kreis plus allen angrenzenden Kreisen) signifikant ($p < 0,05$) höher liegt als die bei einer Inzidenz von 1 Erkrankung/100.000 Einwohner erwartete Fallzahl. (RKI, 2011)

eine genauere Erfassung von Lyme-Borreliose und FSME.

Eine einheitliche, verpflichtende Erfassung der ökologisch relevanten Daten für FSME liegt nicht vor. Dennoch betont das RKI, dass durch die Stagnierung der Krankheitszahlen in Einheit mit der zunehmenden Impfrate in der Bevölkerung eine Evaluation anderer Indikatoren notwendig ist, um eine bessere Risikoeinschätzung vornehmen zu können (RKI, 2011). Viele ökologische Daten werden mit Hilfe von Satelliten durch passive oder aktive Fernerkundung gesammelt (Hay u. Lennon, 1999). Daten über die Habitatstruktur, der Vektoren wie Pflanzenwuchs und -dichte, Bodenbeschaffenheit, Temperatur, Niederschläge, Feuchtigkeit und Höhenlage, können so bestimmt werden und sollen zur Angabe der Vektordichte herangezogen werden. Für Deutschland werden diese Daten u. a. von LANDSAT⁷ erhoben und in Archiven der Satellitenbetreiber bzw. in den zugehörigen Prozessierungszentren gespeichert. Ein Zugriff auf diese Daten wird durch die Fernerkundungsdatenbibliothek über die Internet-basierte Nutzerschnittstelle „EOWEB⁸“ sowie speziell für Atmosphärendaten über das Weltdatenzentrum ermöglicht.

2.1.5 Einführung geographischer Informationssysteme als Gewinn für den umweltbezogenen Gesundheitsschutz

Voraussetzung, um gezielte Präventionsmaßnahmen zum Schutz vor einer weiteren Ausbreitung von FSME etablieren zu können, ist es, die zentralen anthropogenen, biologischen und ökologischen Faktoren, die die Ausbreitungsmechanismen bestimmen, zu kennen. Korrelationen zwischen verschiedenen Umweltfaktoren und der Ausbreitung der Krankheitserreger können mit einem GIS mittels unterschiedlicher statistischer Verfahren ermittelt werden. Mit ArcView 9.3 der Firma ESRI besteht seit 2009 z. B. die Möglichkeit eine GWR⁹ und eine OLS¹⁰ durchzuführen (Kapitel 4). Darüber hinaus können dann diese Ergebnisse visualisiert werden, so dass Veränderungen der einflussgebenden Umweltfaktoren sichtbar werden. Mögliche räumliche und zeitliche Trends können beobachtet und darauf aufbauend Präventionsmaßnahmen zielgruppenspezifisch geplant werden.

Die Wichtigkeit des Verständnisses der ökologischen Zusammenhänge

⁷Land-use Satellite

⁸Earth Observation on the WEB

⁹Geographisch gewichtete Regression

¹⁰Methode der kleinsten Quadrate

im Hinblick auf die Ausbreitung von Infektionskrankheiten wurde bereits am Beispiel der Tierseuche des Blue-Tongue-Virus in der Untersuchung von Koslowski u. a. (2004) verdeutlicht. Es handelt sich hier ebenfalls um eine Krankheit, die durch einen Arthropoden, in diesem Fall *Culicoides* übertragen wird und somit auch durch viele Umwelteinflüsse beeinflussbar ist. Folglich kann die hier angewandte Methodik der Zusammenführung von ökologischen, klimatischen, geografischen und medizinisch-epidemiologischen Daten auch für eine Risikoeinschätzung von Human-VBI anwendbar sein.

Die Verknüpfung von ökologischen Daten mit epidemiologischen Daten mittels GIS ist eine sich in ständiger Entwicklung befindliche Methode. Im Laufe der letzten Jahre konnte dieses Werkzeug dank ständiger Weiterentwicklung mehr und mehr dazu herangezogen werden, die Ausbreitung von verschiedenen Infektionskrankheiten zu erklären (Kassem u. a., 2012; Koslowski u. a., 2004; Lindgren u. Gustafson, 2001; Randolph u. Rogers, 2000; Rochlin u. a., 2011; da Silva u. a., 2011; Trotz-Williams u. Trees, 2003).

In Bezug auf den umweltbezogenen Gesundheitsschutz liegt hier eine große Chance für eine umfassendere Risikoabschätzung von Zoonosen, eine kleinräumigere Identifikation potentieller Gefahrengebiete und für bevölkerungsbezogene Präventionsmaßnahmen. Die Notwendigkeit zur Integration der Daten aus unterschiedlichsten Untersuchungsbereichen und die Entwicklung von Präventions- und Warnsystemen gegen VBI wurde bereits 2000 im Workshop 3 des ENRICH¹¹ in Barcelona erkannt (Maier, 2001). Aber auch 10 Jahre später besteht nach wie vor der Bedarf nach Datenintegration und Warnsystementwicklung im Bereich von VBI.

2.2 Die Bekämpfung von Infektionskrankheiten als interdisziplinäre Herausforderung

Die Kenntnis der Beeinflussung der Ausbreitungsmechanismen von VBI durch zentrale anthropogene, biologische und ökologische Faktoren ist für Public Health besonders wichtig. Viele Fragen können zwar durch experimentell medizinische, parasitologische und ökologische Forschungsansätze beantwortet werden, doch kann die Aufklärung der komplexen Ausbreitungsmechanismen nur durch einen interdisziplinären gesundheitswissenschaftlichen Ansatz umgesetzt werden.

¹¹European Network for Research in Global Change

Bislang wurde die Ausbreitung von Infektionskrankheiten vor allem aus infektionsepidemiologischer Sicht betrachtet. Aufgabe der Infektionsepidemiologie ist es unter anderem Risikofaktoren zu identifizieren und, darauf aufbauend, Monitoring und Infektionssurveillance zu modernisieren (Rothman u. a., 2008). Risikofaktoren im Sinne der Infektionsepidemiologie sind Merkmale einer Person, die zu einem erhöhten Infektionsrisiko führen (Krämer u. Reintjes, 2003). Es ist jedoch ebenfalls notwendig, die Risikofaktoren zu ermitteln, die nur indirekt für die Ausbreitung einer Infektionskrankheit verantwortlich sind, wie z. B. Globalisierung und Klimawandel. Dieser neue Blickwinkel hinsichtlich der Infektionskrankheiten lässt sich dem Public Health-Bereich „Umwelt und Gesundheit“ zuordnen.

Das Themengebiet „Umwelt und Gesundheit“ stellt ein eigenständiges Handlungsfeld von Public Health dar. In der klassischen Definition dieses Anwendungsfeldes geht es um die Exposition der Menschen an ihrem Wohnort oder in der Freizeit gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Belastungen der Umweltmedien Boden, Wasser und Luft. Es wird versucht einen direkten Zusammenhang zwischen Umweltveränderungen und so genannten „umweltassoziierten Gesundheitsbeeinträchtigungen“ herzustellen (Kolip, 2002). Eine zusätzliche Berücksichtigung von indirekten Zusammenhängen zwischen Umweltveränderungen und z. B. VBI sollte angestrebt werden. Die Umweltmedizin (einschließlich der Umwelt-Epidemiologie und -toxikologie), und der umweltbezogene Gesundheitsschutz sind ausgewählte Teilbereiche des Themengebietes „Umwelt und Gesundheit“.

Die Umwelt-Epidemiologie wird als Basiswissenschaft der Umweltmedizin bezeichnet und beschäftigt sich mit der Wirkung von Umwelteinflüssen auf die Gesundheit menschlicher Populationen unter Zuhilfenahme von deskriptiven und analytischen Methoden (Wichmann u. Kreienbrock, 2002). Für die Umweltmedizin relevante Erkenntnisse kann die Umwelt-Epidemiologie nicht nur aus gezielten Einzelstudien erlangen, sondern auch aus epidemiologischer Surveillance. Diese haben zum Ziel, den Umfang eines Gesundheitsproblems zu dokumentieren, Cluster zu entdecken, Risikopopulationen z. B. hinsichtlich Umweltfaktoren zu charakterisieren, Hypothesen über Risikofaktoren zu generieren und ggf. implementierte Schutzmaßnahmen zu evaluieren (Waller, 1996). Für die Fragestellung, ob es Korrelationen zwischen Umweltfaktoren und Vektoren- sowie Infektionsausbreitung gibt, muss die Perspektive der klassischen Umweltepidemiologie ausgeweitet werden. Es sollten nicht nur die Umweltmedien Boden, Wasser und Luft als umwelt-

beeinflussenden Überträger von Schadstoffen bzw. Krankheiten betrachtet werden, sondern auch Organismen, die ebenfalls auf Umweltveränderungen reagieren und Krankheiten übertragen können. Die durch Umwelteinflüsse modifizierten und ggf. schadstoffbelasteten Umweltmedien können nicht nur direkt Krankheiten verursachen, sondern auch Krankheitsüberträger wie z. B. Arthropoden beeinflusst werden. Beispielweise sind die gesundheitlichen Folgen, die durch globale Klimaveränderungen entstehen schwer abzuschätzen, da sie durch eine Vielzahl von Mechanismen ausgelöst und beeinflusst werden (Kolip, 2002).

Der Umweltbezogene Gesundheitsschutz ist ein Teilbereich des Arbeitsfeldes „Umwelt und Gesundheit“ und liegt somit im Grenzgebiet zwischen Gesundheits- und Umweltschutz (Fehr u. a., 2005). Komplexe Themen in diesem Bereich können nur durch eine übergreifende Betrachtung der verschiedenen direkten und indirekten gesundheitsbeeinflussenden Umweltfaktoren bearbeitet werden. Die Hauptziele des Umweltbezogenen Gesundheitsschutz bestehen in der Registrierung und Behebung von vorhandenen Gesundheitsschäden, in der Bekämpfung aktueller und Vermeidung bevorstehender umweltbedingter Gesundheitsgefährdungen sowie in der Förderung der Gesundheit aus ökologischer Sicht (Hurrelmann u. Razum, 2012). Die vorliegende Dissertation kann zur Unterstützung einiger dieser Ziele beitragen, indem z. B. die Minimierung der Gesundheitsgefährdung, durch frühzeitige Identifizierung möglicher Risikogebiete, unterstützt wird. Darüber hinaus können entsprechende, verhältnispräventive Maßnahmen, wie z. B. Impfeempfehlungen für Risikogebiete, eingeleitet werden. Zudem ermöglicht eine Analyse der Umweltfaktoren möglicherweise Vorhersagen neuer VBI-Ausbrüche in Verbindung mit Umweltveränderungen, so dass frühzeitig Interventionsmaßnahmen vorbereitet werden können.

Nur durch die Verknüpfung der verschiedenen Arbeitsbereiche ist es möglich, Korrelationen zwischen Umweltfaktoren und Vektoren- sowie Infektionsausbreitung identifizieren zu können und so einen entscheidenden Beitrag zur Bekämpfung von Infektionskrankheiten leisten zu können.

Eine interdisziplinäre Zusammenarbeit von Medizinern, Epidemiologen und Biologen ist aber auch für die Erarbeitung gezielter Präventionsmaßnahmen notwendig (Alpers u. a., 2004). In Anbetracht der in Kapitel 3.3.1 erwähnten Klimaveränderungen sollte diese Liste um Klimatologen erweitert werden.

2.3 Minderung biogener, umweltbedingter Gesundheitsrisiken durch Präventionsmaßnahmen

Prävention ist wie Gesundheitsförderung eine Form der „Intervention“ (Kirch, 2005). In beiden Fällen handelt es sich um das Eingreifen von öffentlichen und/oder professionell autorisierten Institutionen zur Beeinflussung sich abzeichnender Entwicklungen von Morbidität und Mortalität bei Einzelnen bzw. ganzen Bevölkerungsgruppen (Hurrelmann u. a., 2004).

Die Gesundheitsförderung wird durch die Verbesserung von individuellen Fähigkeiten der Lebensbewältigung und der Förderung der ökonomischen, kulturellen, sozialen, bildungsmäßigen und hygienischen Bedingungen der Lebensgestaltung von Bevölkerungsgruppen gekennzeichnet (Naidoo, 2003). Dabei ist die Kenntnis salutogenetischer Dynamiken Voraussetzung (Hurrelmann u. a., 2004).

Bei der Prävention besteht die Intervention aus der Verhinderung und Abwendung von Ausgangsbedingungen und Risiken von Krankheit. Es geht dabei z. B. um die Verhütung von Unfällen, die Reduzierung der Umweltverschmutzung bzw. -zerstörung und die Verbesserung der Infektionskontrolle (Waller, 1996) durch verhaltens- und verhältnispräventive Maßnahmen. Die Verhaltensprävention versucht, den individuellen Gesundheitszustand oder das individuelle Gesundheitsverhalten zu beeinflussen (Hurrelmann u. a., 2004). Im Bereich der Infektionskrankheiten bedeutet das, Personen zu motivieren medizinisch-technologische Interventionen, wie Impfungen, in Anspruch zu nehmen (Weitkunat u. Schlipkötter, 2004). Außerdem kann die Erkrankungs Wahrscheinlichkeit von z. B. FSME gesenkt werden, indem die Bevölkerung über die möglichen Maßnahmen, wie das Tragen der richtigen Kleidung zur Abwehr der Zecken oder regelmäßiges Untersuchen des Körpers nach Zecken aufgeklärt wird (Krauss u. a., 2004). Wie die aktuellen Erkrankungszahlen der FSME (siehe Kapitel 3.1.2) zeigen, sollten diese verhaltenspräventiven Maßnahmen optimiert und weiterentwickelt werden.

Schutzimpfungen als präventivmedizinische Maßnahmen tragen einen wesentlichen Beitrag zur Krankheitsverhütung bei. Da es aufgrund der epidemiologischen Situation in Deutschland keine Impfpflicht gibt, empfiehlt die „Ständige Impfkommission“ bestimmte Impfungen (RKI, 2005a). Unter anderem wird für einige Bundesländer eine Impfempfehlung für FSME herausgegeben (RKI, 2012). Da der Erfolg dieser verhaltens- und verhältnispräventiven Maßnahmen von der Beteiligung der Bevölkerung an Impfungen abhängig

ist, sollten zusätzliche präventive Maßnahmen gegen Infektionskrankheiten und im besonderen VBI entwickelt werden, wie z. B. die Entwicklung eines Monitoring-Systems.

Verhältnisprävention hat zum Ziel, die ökologischen, sozialen, ökonomischen und kulturellen Umweltbedingungen zu ändern, um einen direkten Einfluss auf die Entstehung und Entwicklung von Krankheiten nehmen zu können (Laaser u. a., 1993). Im Bereich der Durchsetzung von Gesundheitsschutzmaßnahmen agiert die Verhältnisprävention u. a. mit der Verabschiedung von Gesetzen. Hinsichtlich der Problematik durch Infektionskrankheiten wurde 2001 das Bundesseuchengesetz zur Verhütung und Bekämpfung übertragbarer Krankheiten beim Menschen von 1979 durch das IfSG abgelöst.

Einen hohen Stellwert haben verhältnisbezogene Maßnahmen der Prävention in den „Einzelzielen für Gesundheit“ der WHO (WHO, 1999). Neben der multisektoralen Zusammenarbeit im Umweltschutz und der Entwicklung von Verfahren zur Überwachung, Abschätzung und Bekämpfung von Umweltgefahren spielen auch die Verbesserung des Arbeitsschutzes gegenüber berufsbedingten Gesundheitsgefahren eine wichtige Rolle. Nach dem Unfallverhütungsbericht der Bundesregierung wurden erstmals 1989 Berufskrankheiten, die durch biologische Einwirkungen oder durch Viren, Bakterien und Parasiten verursacht wurden, als entschädigungswürdig eingestuft. Es ist davon auszugehen, dass vor allem die Berufsgruppen der Förster, Waldarbeiter, Freileitungsmonteur, Grenz- und Festungswachtkorps, Erzieherinnen in Waldkindergärten, Jäger und Soldaten von FSME betroffen sind (Gutzwiller u. Jeanneret, 1999).

Die Realisierung verhältnispräventiver Maßnahmen erfolgte in den vergangenen Jahrzehnten in drei Phasen. Zunächst wurden Maßnahmen der Verhältnisprävention in den Kommunen realisiert, beispielsweise die Lebensmittelüberwachung. In der zweiten Phase stand der gesundheitliche Arbeitsschutz im Vordergrund. Die dritte aktuelle Phase beschäftigt sich mit der Entwicklung und Etablierung von Maßnahmen des gesundheitlichen Umweltschutzes (Schwartz, 2003). Bereits 1986 wurde die „Europäische Charta Umwelt und Gesundheit“ von den für Umwelt und Gesundheit verantwortlichen Ministern der WHO-Regionen verabschiedet (WHO, 1986). Diese Allianz zwischen Umweltschutz und Gesundheitsschutz enthält u. a. das strategische Element der Minderung von umweltbedingten Gesundheitsrisiken durch die Einführung von Kontrollmaßnahmen und anderen Instrumenten.

Angesichts der weltweiten Verbreitung von Infektionskrankheiten stellt die

Prävention und Kontrolle übertragbarer Krankheiten ein wichtiges Ziel der Gesundheitsbehörden dar (Eisen u. Eisen, 2011; WHO, 2004a).

2.4 Monitoring- und Surveillance-Systeme als Instrumente der Gesundheitspolitik

Im Bereich der Gesundheitspolitik sind Informationen über umweltbeeinflusste Gesundheitsrisiken für die Bewertung und Ableitung eines politischen Handlungsbedarfs von grundlegender Bedeutung. Hier spielen die GBE¹² und Monitoring- und Surveillance-Systeme entscheidende Rollen.

Die GBE spiegelt das Gesundheitswesen in Deutschland und den Gesundheitszustand der Bevölkerung wieder. Durch die wissenschaftliche Analyse von Daten (z. B. Erkrankungszahlen) und abgeleiteten Größen (z. B. Inzidenzraten) können Berichte erstellt werden, die neue Informationen über spezifische Gesundheitsrisiken als Grundlage zur politischen Entscheidungsfindung liefern können (Schwartz, 2003).

Solche, auf Basis wissenschaftlicher Untersuchungen, im Rahmen der uGBE¹³ erstellten Berichte, dienen der präventiv ausgerichteten Gesundheitspolitik als Werkzeug (Hurrelmann u. Razum, 2012). Die uGBE stützt sich auf vorhandene Elemente sowohl der Umweltberichterstattung als auch der Gesundheitsberichterstattung und behandelt im weiteren Sinne Umweltthemen in der Gesundheitsberichterstattung bzw. Gesundheitsthemen in der Umweltberichterstattung. Im engeren Sinne ist die uGBE aber ein eigener Ansatz an der Nahtstelle von Umwelt- und Gesundheitsthemen (Hurrelmann u. Razum, 2012).

Die Funktion der uGBE besteht, nicht nur in der Erfassung von medizinischen und umweltbasierten Daten und deren statistischer Aufarbeitung, sondern zusätzlich in der Erstellung von interpretierenden Berichten und Prognosen (Hurrelmann u. Razum, 2012). Darüber hinaus können auf Basis der uGBE Präventionsmaßnahmen mit verhaltens- und verhältnisbezogenen Komponenten entwickelt und Kontroversen, insbesondere zur Über- bzw. Unterbewertung von umweltbeeinflussten Gesundheitsrisiken, reduziert werden (Meyer, 2000). Die Verzahnung der Gesundheits- und Umweltberichterstattung im Rahmen der uGBE unterstützt die Gesundheitspolitik

¹²Gesundheitsberichterstattung

¹³Umweltbezogene Gesundheitsberichterstattung

durch Sammlung der notwendigen Kenntnisse über direkte oder indirekte Einwirkungen von Umweltbelastungen auf die menschliche Gesundheit.

Initiiert durch die uGBE, kann durch eine verbesserte Vernetzung unterschiedlicher Ressorts (Umwelt, Gesundheit, Forschung usw.) der nationale und internationale Informationsaustausch auf allen administrativen Ebenen optimiert werden (Meyer, 2000). Um neu erstellte oder erschlossene Datensätze zu nutzen kann GIS, durch die Möglichkeit der Verknüpfung von Umweltdatensystemen und Gesundheitsdatensystemen, ein geeignetes Werkzeug darstellen (Meyer, 2000).

GIS stellt auch bei Monitoring- und Surveillance-Systemen ein wichtiges Werkzeug dar (Kapitel 3.5.3). Eine Surveillance liefert eine wesentliche Basis zur Lagebeurteilung des Infektionsgeschehens und stellt damit einen Kernbereich der Gesundheitsförderung und -politik dar (Weitkunat u. Schlipkötter, 2004). Sie besteht aus drei Komponenten: (1) der systematischen Erfassung von Daten zur Epidemiologie von Infektionskrankheiten, (2) der Analyse dieser Daten und (3) der rechtzeitigen Verbreitung der Ergebnisse, um geeignete Bekämpfungs- und Kontrollmaßnahmen steuern zu können. Diese Komponenten stellen den zentralen Teil eines Public Health Surveillance Systems dar, mit dem z. B. Hochrisikogruppen, sozialbedingte bzw. regionalbezogene gesundheitliche Ungleichheiten aufgedeckt werden können (M'ikanatha u. a., 2013).

Surveillance-Systeme können auf Basis unterschiedlicher Datensammlungsarten erstellt werden. In einer aktiven/passiven Surveillance werden die Daten passiv über die klassische Meldepflicht bzw. aktiv von Institutionen, die die Surveillance durchführen gesammelt. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit Infektionskrankheiten über die sogenannte Sentinel-Surveillance zu überwachen. Hierbei wird eine Stichproben-Gruppe gewählt und nur aus dieser werden Daten übermittelt (M'ikanatha u. a., 2013). Zusätzlich gibt es weitere Möglichkeiten Daten für eine Surveillance zu erheben: Studien (z. B. Screenings, Fall-Kontroll-Studien, Kohortenstudien), Verkaufszahlen von Medikamenten und Impfstoffen, offizielle Register wie Sterbe- oder Krebsregister, Krankenkasseninformationen, Krankmeldungen etc. Jedoch reicht die Überwachung in dieser Form noch nicht aus, um eine vollständige Überwachung von Infektionskrankheiten zu gewährleisten. Vor allem im Hinblick auf VBI ist es wichtig neben der Bevölkerung auch die Wirtstiere und die Vektoren in die Surveillance einzubinden.

Die Komplexität des Lebens- und Übertragungszyklus von VBI (vergl. Ab-

bildung 3.3) bedingt eine große Anzahl möglicher Indikatorvariablen für die Aktivität des Erregers und das Infektionsrisiko für die Bevölkerung. Eine VBI-Surveillance kann in humane und ökologische Surveillance differenziert werden. Die humane Surveillance beschränkt sich auf die Überwachung von Infektionen, Krankheiten und Verhaltensweisen der Bevölkerung. Die ökologische Surveillance umfasst insbesondere die Überwachung von Infektionen bzw. Krankheiten der Wirtstiere und Vektoren. Anteile der humanen und ökologischen Surveillance werden kombiniert und abhängig von der Zielsetzung des Surveillance-Systems und den verfügbaren Ressourcen ausgewertet (M'ikanatha u. a., 2013).

Surveillance-Systeme können zur Überwachung der Krankheitsentwicklung von VBI dienen. Diese Überwachung ist nicht nur aufgrund der sehr komplexen Ausbreitungsmechanismen von VBI wichtig, sondern auch z. B. aufgrund fehlender Prävalenzstudien für nicht FSME-Endemiegebiete (Bröker u. Gniel, 2003a). Dies verdeutlicht die Wichtigkeit von Monitoring- oder Surveillance-Systemen für VBI, da so Veränderungen in der Ausbreitung zeitnah detektiert und geeignete Maßnahmen ergriffen werden können. Darüber hinaus bietet sich die Möglichkeit, in noch nicht offiziell betroffenen Ländern, die Sensibilität für die VBI zu erhöhen. Aufgrund der neuen methodischen Möglichkeiten durch GIS ist der Bereich der Human-VBI ein äußerst interessantes und vielversprechendes Forschungsgebiet für Public Health.

2.5 Fragestellung und Zielsetzung der Arbeit

Vor dem Hintergrund der oben geschilderten Probleme im Bereich von VBI, ihrer Überwachung und Vorhersage soll am Beispiel von FSME überprüft werden, welche Faktoren in welcher Form auf die Ausbreitung von FSME einwirken und mit welchen Methoden diese Korrelationen aufgedeckt werden können. FSME ist ein sich stetig ausbreitender Virus, der jährlich mehrere Tausend Krankheitsfälle in Europa verursacht, von denen durchschnittlich 1 bis 2% tödlich verlaufen (WHO, 2004a). In Deutschland wird eine Häufung der Krankheitsfälle in südlichen Regionen mit einer Ausbreitungstendenz nach Norden beobachtet, so dass FSME in Deutschland an Bedeutung zu gewinnen scheint. Dabei wurde sowohl ein Anstieg der Fallzahlen, als auch eine zunehmende, geographische Ausbreitung mit neuen Naturherden, in denen das FSME-Virus endemisch vorkommt, registriert. Die Ursachen für

die steigenden und sich geographisch ausbreitenden FSME-Inzidenzen sind derzeit nicht gänzlich geklärt. Klimaveränderungen, Zusammensetzung des Wirtstiervorkommens sowie Faunazusammensetzung gelten als die wesentlichen Einflussgrößen auf die Verbreitung von FSME (Jaenson u. Lindgren, 2011; Kiffner u. a., 2010; Tack u. a., 2012a). Bis dato fehlt eine Überwachung der Ausbreitung von FSME, die dieses komplexe Wechselspiel berücksichtigt. Vor diesem Hintergrund stehen die folgenden Fragestellungen im Mittelpunkt dieser Dissertation:

1. Welche positiven wie negativen Korrelationen sind zwischen den Umweltfaktoren und der Vektoren- sowie der Infektionsausbreitung in der Untersuchungsregion erkennbar?
2. Welche gesundheits- und umweltbezogenen Präventionsmaßnahmen lassen sich auf Basis der Monitoring- und Surveillance-Systeme entwickeln?
3. Welche Empfehlungen können auf Basis der Ergebnisse für die Etablierung eines Surveillance-Systems in der ausgewählten Region gegeben werden?
4. Welche Ausblicke lassen sich für eine deutschland- und europaweite Surveillance ableiten?

Anhand der Fragestellungen können folgende Studienziele formuliert werden:

► Erstellung eines Indikatorensets anhand einer Literaturstudie als Basis einer FSME-Surveillance

Eine intensive Literaturrecherche gab Aufschluss über die aktuelle Kenntnislage bezüglich möglicher Einflussfaktoren auf die Verbreitung von FSME. Eine Bündelung dieser Informationen zu einem Indikatorenset dient als Grundlage beim Aufbau einer FSME-Surveillance. Die in dieser Arbeit erlangten Erkenntnisse können dazu beitragen, potentielle Risikofaktoren bezüglich der Ausbreitung von FSME aufzudecken und das Wechselspiel zwischen Erreger, Vektor und Umweltfaktoren zu erfassen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen können Vorsorgemaßnahmen getroffen und Strategien und Modelle entwickelt werden.

› **Prüfung bereits existierenden Datenmaterials bezüglich der Einflussgrößen auf FSME**

Die Anwendung bereits bestehenden Datenmaterials birgt den Vorteil, dass eine kostengünstige und effiziente Etablierung eines Surveillance-Systems möglich wäre. Die Prüfung, welche Daten in welcher Form wo vorliegen ist notwendig, um ein erstes ganzheitliches Bild bezüglich der Datenlage der Einflussgrößen zu erlangen. Darauf aufbauend können Empfehlungen zur Surveillance-Optimierung hinsichtlich einer ausweitenden Datenermittlung erstellt werden.

› **Aufdeckung von positiven wie negativen Korrelationen zwischen den Umweltfaktoren und der FSME-Infektionsausbreitung**

Die Analyse von Umweltveränderungen ist ein wesentlicher Bestandteil der Erforschung der Verbreitung von VBI. VBI und ihre Vektoren, wie z. B. *Ixodes ricinus* bei FSME, folgen einem sehr komplexen und sensiblen Infektions- und Lebenszyklus. Die vielschichtigen Wechselbeziehungen innerhalb dieser Zyklen gilt es zu erfassen und damit einen weiteren Beitrag zur Surveillance-Optimierung zu leisten.

› **Gegenüberstellung unterschiedlicher statistischer Methoden zur Analyse der Wechselbeziehungen zwischen Umweltparametern und FSME-Inzidenz**

Räumliche Regressionsanalysen stellen ein wichtiges Instrument zur Modellierung, Untersuchung und Erkundung von räumlichen Beziehungen dar. Es können beobachtete räumliche Muster z. B. in der Ausbreitung einer Infektionskrankheit erkannt und die zugrunde liegenden erklärenden Faktoren bestimmt werden. Dazu gibt es unterschiedliche Ansätze die räumliche Komponente zu modellieren. Zwei dieser Methoden werden in dieser Dissertation gegenübergestellt, um ihren Nutzen in einer möglichen Surveillance für VBI zu prüfen.

3 Forschungsstand

3.1 FSME: Krankheitsbild, Epidemiologie und Überwachung

3.1.1 Krankheitsbild

FSME ist nach Trenkner u. Komorek (2002) die bedeutendste virale Infektion des Zentralnervensystems. Nach erfolgter Infektion treten bei 10-30% der infizierten Personen Krankheitserscheinungen auf, wobei in einem FSME-Endemiegebiet¹ nur bei 0,01-0,3% der Zeckenstiche mit einer FSME zu rechnen ist (RKI, 1996). Der Krankheitsverlauf ist biphasisch: Zunächst treten grippeähnliche Symptome mit einem Anstieg der Körpertemperatur bis zu 39 °C, Gliederschmerzen, Kopfschmerzen und gastrointestinalen Störungen auf - das Krankheitsbild einer Meningitis (Hirnhautentzündung). In typischen Fällen folgt der ersten Krankheitsphase ein beschwerdefreies Intervall von 7-10 Tagen (Alpers u. a., 2004). Bei etwa 10% der Infizierten entsteht in der zweiten Phase eine Meningoenzephalitis² mit Fieber, Erbrechen, meningealen Reizerscheinungen, vereinzelt Auftreten von Stupor³ oder Koma. Nach 2-14 Tagen kann die Krankheit abheilen ohne bleibende Schäden verursacht zu haben. Möglich ist in schweren Fällen anschließend auch eine Phase mit gesteigerter vegetativer Labilität und Neigung zu heftigem Kopfschmerz (bei 23% der Infizierten innerhalb eines Zeitraums von 1-5 Jahren) (Krauss u. a., 2004). In schwersten Fällen kann es zu einer Meningoenzephalomyelitis⁴ kommen. Hier ist zwar eine vollständige Heilung möglich, häufig bleiben aber spinale Lähmungen zurück (1-5%) oder der Patient stirbt an einer Bulbärparalyse⁵ (Krauss u. a., 2004).

¹Gebiet, in dem nach Beobachtungen oder Befunden saisonal von einem Infektionsrisiko auszugehen ist; aktiver Infektionsherd bzw. Naturherd (RKI, 1998)

²kombinierte Entzündung des Gehirns (Enzephalitis) und der Hirnhäute (Meningitis) (Reiche, 2003)

³Starrezustand des ganzen Körpers bei Bewusstsein

⁴Meningoenzephalitis mit Beteiligung des Rückenmarks (Reiche, 2003)

⁵Ausfall motorischer Hirnnervenkerne im Bereich des hintersten Gehirnteils (Reiche, 2003)

3.1.2 Die Situation der FSME in Deutschland

Mit Einführung des neuen IfSG im Jahr 2001 unterliegt FSME in Deutschland der Meldepflicht (IfSG, 2000). Dadurch existieren detaillierte, flächendeckende Zahlen über die Erkrankungshäufigkeit in Deutschland (Abbildung 3.1).

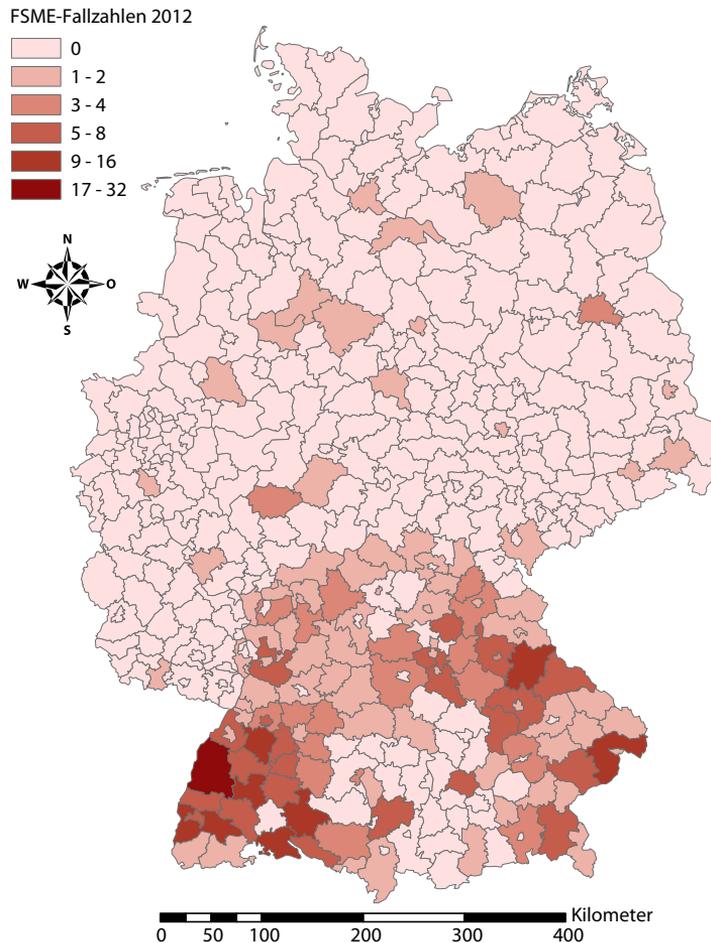


Abbildung 3.1: FSME-Inzidenzen des Jahres 2012 in Deutschland je Landkreis

Als Erfassungsgrundlage dient die Falldefinition des RKI (RKI, 2011). Diese wurde zwischen der Einführung des Infektionsschutzgesetzes 2001 und dem

Jahr 2007 drei Mal hinsichtlich der Spezifizierung der Labordiagnostik angepasst. Es werden alle Erkrankungsfälle erfasst, die dem klinischen Bild einer FSME entsprechen und labordiagnostisch durch direkten oder indirekten Erregernachweis bestätigt wurden.

Auf Grundlage der Zahlen gemeldeter, autochthon erworbener FSME-Erkrankungen werden jährlich Stadt- und Landkreise zu Risikogebiete klassifiziert. Die Definition für ein Risikogebiet lautet nach dem RKI: „Ein Kreis wird als FSME-Risikogebiet definiert, wenn die Anzahl der übermittelten FSME-Erkrankungen in mindestens einem der Zeiträume 2002 – 2006, 2003 – 2007, 2004 – 2008, 2005 – 2009 oder 2006 – 2010 im Kreis ODER in der Kreisregion (bestehend aus dem betreffenden Kreis plus allen angrenzenden Kreisen) signifikant ($p < 0,05$) höher liegt als die bei einer Inzidenz von 1 Erkrankung/100.000 Einwohner erwartete Fallzahl.“ (RKI, 2011). Bis zum Jahr 2006 wurde anhand der absoluten Fallzahlen nach Risiko- und Hochrisikogebiet differenziert. Seit 2007 wird das FSME-Risiko anhand der Inzidenz unter Einbeziehung der Kreisregion geschätzt, ohne Differenzierung in Risiko- und Hochrisikogebiet. Aufgrund dieses neuen Definitionsansatzes wurden 2007 mehr Kreise als Risikogebiete eingestuft als im Jahr 2006. Für das Jahr 2012 verteilten sich die FSME-Fälle auf die einzelnen Bundesländer wie folgt: 65 (37,6%) in Baden-Württemberg, 77 (44,5%) in Bayern, 12 (6,9%) in Hessen, 6 in Rheinland-Pfalz (3,5%), 4 jeweils in Sachsen und Niedersachsen (2,3%), 3 in Nordrhein-Westfalen (1,7%) und 1 jeweils in Brandenburg und Sachsen-Anhalt (0,5%)(Abbildung 3.1). Unter Berücksichtigung vorangegangener FSME-Meldungen weisen die Bundesländer Baden-Württemberg, Bayern, Hessen, Rheinland-Pfalz und Thüringen definierte FSME-Risikogebiete auf. Bundesländer mit vereinzelt auftretenden autochthonen FSME-Erkrankungen, in denen jedoch kein Landkreis die Definition für ein FSME-Risikogebiet erfüllt sind Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen, Saarland, Sachsen, Sachsen-Anhalt und Schleswig-Holstein. In Berlin, Bremen und Hamburg wurden bis dato keine FSME-Erkrankungen registriert. Europaweit befinden sich FSME-Endemiegebiete überwiegend in Russland, der Tschechischen Republik, Lettland, Estland und Litauen. Vereinzelt sind auch FSME-Fälle in Kroatien, Schweden, Finnland und der Slowakischen Republik zu beobachten (WHO, 2004a).

In den FSME-Endemiegebieten Deutschlands sind 1%-5% der Zecken mit dem Virus infiziert (RKI, 2005b). In vielen Regionen, die nicht als FSME-Endemiegebiete gelten, wurden in der Vergangenheit keine Prävalenzstudien

durchgeführt (Bröker u. Gniel, 2003a). Daher kann das Risiko, an FSME zu erkranken, leicht unterschätzt werden. Fiebrige Erkrankungen und Meningitis werden oftmals nicht mit einer Infektion durch das FSMEV⁶ in Zusammenhang gebracht (Bröker u. Gniel, 2003a). Über die geographische Verbreitung des FSMEV existieren zurzeit nur wenige Daten, deshalb wird sie meistens mit dem geographischen Auftreten der FSME-Erkrankungen gleichgesetzt (Dobler u. a., 2005).

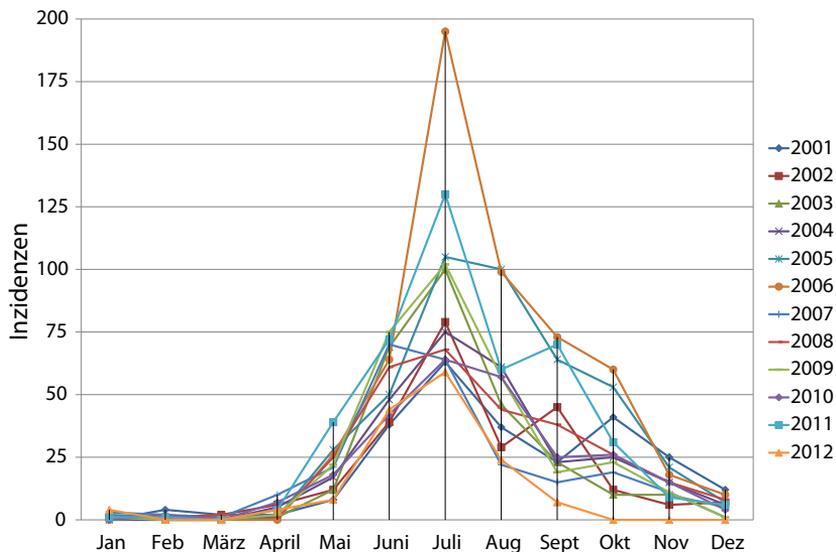


Abbildung 3.2: FSME-Inzidenzen für die Jahre 2001 bis 2012

Zwei Besonderheiten stehen im Zusammenhang mit FSME: die jahreszeitliche Verteilung der Erkrankungsfälle und die mosaikartige Verbreitung. Die bereits erwähnten regelmäßig seit 2001 gewonnenen Daten des RKI zeigen, dass es ein saisonales Auftreten von FSME-Fällen in Deutschland gibt (Abbildung 3.2). Im Jahresverlauf treten erste FSME-Fälle in den Monaten März und April auf. Bevor im August die Zahl der Erkrankungen sinkt, ist ein erster Erkrankungsgipfel (durchschnittlich 15-20 Erkrankungen) im Juli zu verzeichnen. In den nachfolgenden Wochen wird nochmals ein Anstieg auf 10 bis 20 Erkrankungen registriert (Abbildung 3.2).

⁶Frühsommer-Meningoenzephalitis-Virus

Die mosaikartige Verbreitung von FSME ist gekennzeichnet durch Standorte mit stark unterschiedlicher Individuendichte des Überträgers *Ixodes ricinus*, die unmittelbar aneinander grenzen (Daniel u. a., 1976). Beispielsweise treten in den Hauptverbreitungsgebieten Baden-Württemberg und Bayern inzidenzfreie Inseln auf. Oder aber in eigentlich inzidenzfreien Bundesländern gibt es einzelne „infizierte“ Landkreise, so z. B. der Landkreis Birkenfeld in Rheinland-Pfalz (RKI, 2011).

Innerhalb eines aktiven Naturzyklus (Abbildung 3.3) werden die Inzidenz und das Auftreten der Erkrankungsaktivität primär durch menschliches Handeln bestimmt. Es besteht eine Korrelation zwischen der Durchseuchungsrate der Zecken und der Zahl der registrierten Erkrankungsfälle (Süss u. a., 2004), die auf direkte und indirekte Effekte des menschlichen Verhaltens zurückgeführt werden können (Abbildung 3.5).

3.2 *Ixodes ricinus*

3.2.1 Systematik

Zecken werden taxonomisch innerhalb des Stammes der Arthropoda (Gliederfüßer) zu der Klasse der Arachnida (Spinnentiere) gezählt und bilden zusammen mit den Milben die Unterklasse Acari. Aufgrund der Lage der Stigmen (Atemöffnungen) hinter dem vierten Beinpaar grenzen sich die Zecken von den übrigen Milben ab. Sie bilden so die Ordnung Ixodida (= Metastigmata) mit den zwei großen Familien der Argasidae (Lederzecken) und Ixodidae (Schildzecken). Die Familie der Nuttalliellidae stellt eine Reliktform dar und wird nur durch eine einzige Art (*Nuttalliella namaqua*) repräsentiert (Eckert u. a., 2008). Die folgende Übersicht zeigt die Taxonomie der Ordnung Ixodida und die in Europa relevanten Unter-Familien (geändert nach Eckert u. a. (2008)):

Ordnung: Ixodida (Metastigmata)

Familie: Ixodidae (Schildzecken)

Unter-Familie: Ixodinae

Gattung: *Ixodes* (ca. 250 Arten)

Unter-Familie: Haemaphysalinae

Gattung: *Haemaphysalis* (156 Arten)

Unter-Familie: Rhipicephalinae

Gattung: *Rhipicephalus* (80 Arten)

Unter-Gattung: *Boophilus* (5 Arten)

Gattung: *Dermacentor* (35 Arten)

Unter-Familie: Hyalomminae

Gattung: *Hyalomma* (25 Arten)

Unter-Familie: Amblyomminae

Gattung: *Amblyomma* (140 Arten)

Familie: Agasidae (Lederzecken)

Unter-Familie: Argasinae

Gattung: *Argas* (56 Arten)

Unter-Familie: Ornithodorinae

Gattung: *Carios* (88 Arten)

Gattung: *Ornithodoros* (37 Arten)

Gattung: *Otobius* (2 Arten)

Familie: Nuttalliellidae

3.2.2 Geographische Verbreitung und Lebensraum

Ixodes ricinus, auch „gemeiner Holzbock“ genannt, ist die am häufigsten vorkommende Zeckenart in Europa (Jongejan u. Uilenberg, 2004). Ihr Verbreitungsgebiet reicht von Irland, Großbritannien, Skandinavien über annähernd ganz Europa bis nach Nordafrika mit Marokko, Algerien und Tunesien sowie nach Russland (Wolga), Turkmenistan und dem nördlichen Iran und ist somit in weiten Teilen der Welt vertreten (Kolonin, 2009; Sonenshine, 1993).

Wälder, hohes Gras und Gebüsch, loses Laub sowie nicht zu trockene Lagen stellen bevorzugte Habitate von *Ixodes ricinus* dar (Hillyard, 1998). Die sekundären Pflanzengesellschaften aus Heide, Wald- und Kultursteppen sowie Misch- und Nadelwäldern verkörpern die bevorzugten Biotop für *Ixodes ricinus*. In Deutschland geben vor allem die Nadelwälder sowie die Laub- und Mischwaldbestände mit einer dichten Krautzone und viel Unterholz einen geeigneten Lebensraum ab (Eckert u. a., 2008) (siehe auch Kapitel 3.3.4). Je nach

Entwicklungsstadium und Witterungszustand wandern nüchterne Zecken während der Wirtssuche an der Vegetation unterschiedlich weit hoch. Larven können bis zu einer Höhe von 20cm gefunden werden, Nymphen bis 1m und adulte Zecken bis 1,50m (Süss u. a., 2004). Die reale Ausbreitung von *Ixodes ricinus* ergibt sich aus dem gesamtheitlichen Wechselspiel der verschiedenen Umweltfaktoren (Vegetation, Urbanisierung, Wirtsvorkommen und Klima).

Bei der Aufklärung der Ausbreitung von *Ixodes ricinus* könnte die Sichtweise der Biogeographie hilfreich sein. Nach Müller (1981) befasst sich die Biogeographie mit der biologischen Raumbewertung. Im Mittelpunkt ihrer Untersuchungen steht die Aufklärung der Struktur, Funktion, Geschichte und Indikatorenbedeutung von Arealssystemen. Ziel ist es, die Ursachen der räumlichen Muster und Prozesse des Lebens auf der Erde in allen räumlichen Dimensionen zu analysieren.

Die zentrale Grundfragestellung bezüglich der Ausbreitung von *Ixodes ricinus* ist dabei: „Warum tritt *Ixodes ricinus* z. B. im Raum Norddeutschland nicht auf?“ bzw. „Warum kommt *Ixodes ricinus* in Süddeutschland vor?“

Biogeographie kann auch als Arealssystemkunde bezeichnet werden. Ein Arealssystem ist die zentrale Einheit der Biogeographie. Ein Areal stellt ein Verbreitungsgebiet dar, welches zur Fortpflanzung, Brut, als Ruhegebiet und Wanderraum dient. Das Areal kann sich nach Frey u. Lösch (2003) verändern, in dem eine Art in ein bislang von ihr unbesiedeltes Gebiet vordringt oder sich aus einem ehemals größeren Areal zurückzieht. Klare Artengrenzen existieren nach Gaston (2003) nicht. Er unterteilt die Areale in eine Zone der konstanten Verbreitung, der disjunkten Verbreitung des wechselnden Aussterbens, der unfruchtbaren Invasion und der des Todes.

Die Bestimmung, warum eine Art in ihrer geographischen Verbreitung eingeschränkt ist, ist schwierig. Wie bereits oben beschrieben ist es nur sicher, dass die Verbreitung von einer Vielzahl von Faktoren bzw. manchmal von einer Kombination dieser Faktoren abhängt. Zu diesen Faktoren zählen:

- Abiotische und biotische Faktoren, die eine weitere Ausbreitung verhindern
- Klima
- Mikroklima
- Geologische Geschichte

- Verfügbarkeit von Nahrung
- Chemie der Umwelt
- Konkurrenzkampf
- Faktoren der Populationsdynamik, die die Persistenz verhindern
- Genetische Mechanismen, die eine geographische Eingrenzung verursachen.

Abiotische und biotische Faktoren spielen eine wichtige Rolle bei der Bildung der geographischen Grenzen der zu limitierenden Arten. Dazu zählen: Physikalische Barrieren, Klimafaktoren, Verfügbarkeit wichtiger Ressourcen und der Einfluss von Wettbewerb, Feinden oder Parasiten.

Physikalische Barrieren wie Berge, Flüsse etc. können in einem hohen Maße die Verbreitung einer Art limitieren. Es ist möglich, dass potentielle Verbreitungsgebiete für eine Art existieren, diese jedoch, aufgrund von unüberwindbaren Barrieren nicht von der entsprechenden Art besiedelt werden können.

Das Klima ist, wie bereits beschrieben, ein wesentlicher Faktor bei der Limitierung von Arealen. Dennoch sollte dieser Faktor nicht isoliert betrachtet werden, denn die einzelnen abiotischen und biotischen Einflüsse können nicht zufriedenstellend voneinander unterschieden werden. Auch die biotischen Faktoren, die die Rahmenbedingungen bilden, sind von Bedeutung. Dazu gehören, abhängig vom System, die äußere Erscheinung, Hangneigung, Licht, CO₂-Gehalt der Luft, Topographie, Geologie, Boden, Wasser, Salzgehalt, pH-Wert, Spurenelemente, Feuer und andere Formen der Zerstörung, obwohl einige von diesen in einem klaren Zusammenhang zum Klima stehen (Gaston, 2003).

Interspezifische Interaktionen können ebenfalls zu einer Limitierung der geographischen Verbreitung einer Art führen. Es wird zwischen interspezifischen Interaktionen aus Sicht des Konsumenten, des Konkurrenten und der Beute unterschieden. Die Interaktion zwischen einem vorhandenen Habitat und der Besiedlung bzw. der Sterberate, die die Persistenz von Metapopulationen im Raum verhindert, ist gering.

3.2.3 Lebenszyklus, Wirtsspektrum, Saisonale Aktivität

Ixodes ricinus lebt einen drei-wirtigen Lebenszyklus mit vier Entwicklungsstadien: Ei und drei aktive Stadien (Larve, Nymphe und Adult) (Abbildung 3.3). Zu jeder der drei Blutmahlzeiten, die diese obligat hämatophage Zecke im Laufe ihres Lebens zu sich nimmt, wird ein anderes Wirtstier aufgesucht (Eckert u. a., 2008). Über 90% ihres Lebens befindet sich die Zecke jedoch nicht auf einem Wirt sondern hält sich entweder in der schützenden Bodenschicht ihres Habitats auf oder ist auf der Suche nach einem passenden Wirt (Hillyard, 1998). Hierbei klettert die Zecke auf Bewuchs und streckt in einer ihr typischen Wartehaltung die Vorderbeine samt Hallerschem Organ aus (Eckert u. a., 2008). Ist ein passender Wirt gefunden, werden mittels der Pedipalpen reich durchblutete Körperstellen angesteuert (beim Mensch z. B. Achsel, Haaransatz, Kniekehle), um dort die Haut mit den scharfen Chelizeren aufzuritzen und das Hypostom zur Verankerung in die Haut zu schieben (Süss u. a., 2004).

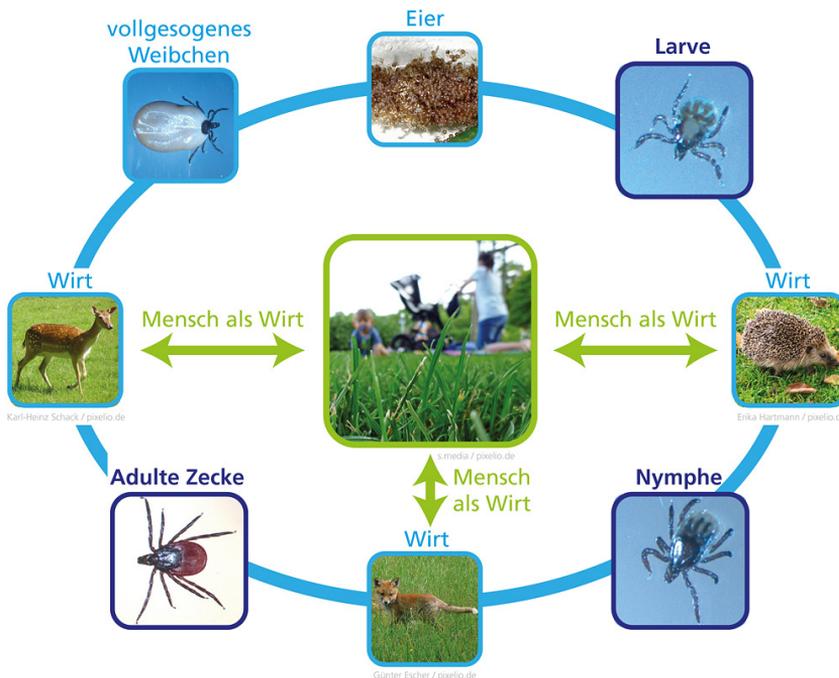


Abbildung 3.3: Lebenszyklus von *Ixodes ricinus* (zecken.de)

Dank der Produktion von entzündungs- und blutgerinnungshemmenden Stoffen in der Speicheldrüse kann die Zecke die erforderliche Zeit von mehreren Tagen am Wirt saugen. Adulte Männchen saugen kein oder nur wenig Blut. Das adulte Weibchen kann beim Saugakt ihre Körpermasse auf das 120-fache vergrößern (Hillyard, 1998). Nach der Beendigung der Blutmahlzeit lässt sich die Zecke vom Wirt abfallen und häutet sich zum jeweils nächsten Stadium. Bei adulten Weibchen kann es dann zur Eiablage kommen (Sonenshine, 1993).

Ixodes ricinus weist ein sehr breites Wirtsspektrum auf (z. B. Mäuse, Vögel, Eidechsen, Reh- und Rotwild, Füchse, Kaninchen und Haustiere wie Rinder, Schafe, Hunde und Katzen). Bis zu 300 verschiedene Wirbeltierarten stellen das Wirtstierreservoir für *Ixodes ricinus* dar (Stanek, 2002). Je nach Entwicklungsstadium bevorzugen die Zecken andere Wirte. Für Larven sind es meist Kleinsäuger, z. B. die Rötelmaus (*Myodes glareolus*) oder die Gelbhalsmaus (*Apodemus flavicollis*) (Gray, 2002). Für Nymphen Kleinsäuger, Vögel (z. B. die Amsel (*Turdus merula*), Reptilien und größere Säugetiere wie z. B. das Reh (*Capreolus capreolus*). Adulte Zecken bevorzugen häufig größere Säugetiere (Abbildung 3.3). Alle drei blutsaugenden Entwicklungsstadien wählen den Menschen als Wirt (Eckert u. a., 2008). Nach Gray (2002) werden jedoch meistens Nymphen auf dem Menschen gefunden.

Wann *Ixodes ricinus* auf Wirtssuche geht scheint von verschiedenen Faktoren abhängig zu sein. In Zentraleuropa beginnt bei einer Außentemperatur von mindestens 7 °C die Zeckenaktivität im Frühjahr (Mai/Juni) (Lindgren u. a., 2000; Süss u. a., 2008). Ein zweites Aktivitätsmaximum lässt sich im Herbst (September/Okttober) verzeichnen (Gray, 2002). Dies ist ein sogenanntes biphasisches Aktivitätsmuster, in der sich zwei voneinander unabhängige Zeckenpopulationen (Frühlings- und Herbstpopulation) bilden. Eine Abnahme der Saugaktivität von *Ixodes ricinus* findet aufgrund zu hoher Temperaturen und zu niedriger Luftfeuchte im Hochsommer statt (Hillyard, 1998). Suchaktivitäten in den Wintermonaten kommen nur bei milden Witterungsverhältnissen vor (Dautel u. a., 2008).

Bei Beobachtung der Fallzahlen für FSME kann hier eine Synchronizität festgestellt werden. Die jahreszeitlich abhängige Aktivität von *Ixodes ricinus* hängt mit seiner ausgeprägten Euryökie⁷ zusammen. *Ixodes ricinus* kann

⁷ relativ breiter Toleranzbereich bezüglich der Schwankung von einem oder mehrerer Umweltfaktoren

zwar einen relativ breiten Schwankungsbereich an einem oder mehreren Umweltfaktoren (z. B. Klima, Vegetation) ertragen, dennoch gehen Aktivität und Entwicklung von *Ixodes ricinus* mit optimalen klimatischen Bedingungen einher. Bei ungünstigen Verhältnissen (z. B. im Winter) findet keine Aktivität statt (Hillyard, 1998). Dieser Zustand wird als Diapause bezeichnet. Die Diapause ermöglicht *Ixodes ricinus* eine Anpassung bei geringem Wirtstieraufkommen oder ungünstigen klimatischen Verhältnissen sowie das Überleben ohne Blutmahlzeit über einen längeren Zeitraum (Sonenshine, 1993). Der gesamte Entwicklungszyklus von *Ixodes ricinus* kann zwischen zwei und sechs Jahren dauern. Die durchschnittliche Dauer beträgt drei Jahre (mit einer Blutmahlzeit pro Jahr), kann jedoch, abhängig von klimatischen Faktoren, verlängert oder verkürzt werden (Sonenshine, 1993).

3.2.4 *Ixodes* als Vektor für FSME

Ixodes ricinus ist in Europa für 90% bis 95% aller zeckenübertragbaren menschlichen Erkrankungen verantwortlich und stellt einen sehr effektiven Vektor dar (Süss u. a., 2008). Die geringe Wirtsspezifität, die eine Erregerübertragung zwischen unterschiedlichen Wirtstierarten möglich macht, und der lange Kontakt zum Wirt, der die Verbreitung der Zecken und Krankheitserreger durch mobile Wirte, wie z. B. Vögel, unterstützt, machen *Ixodes ricinus* zu einem sehr wirksamen Vektor für Infektionskrankheiten (Hillyard, 1998).

In Mitteleuropa ist *Ixodes ricinus* der Überträger des FSMEV⁸ (Kiehl, 2011). Der Erreger der FSME zirkuliert in der Natur in einem Zyklus zwischen Zecken und infizierten Wirtstieren (Labuda u. a., 1993).

Eine Aufrechterhaltung des FSMEV im Naturzyklus wird durch unterschiedliche Übertragungswege ermöglicht. Zum einen kann eine transstadiale Übertragung stattfinden. Während einer mehrere Tage andauernden Virämie⁹ der Wirtstiere nach einer Infektion, infiziert sich eine, in diesem Zeitraum Blut saugende Zecke, mit dem FSMEV. Zum anderen existiert die nicht-virämische Übertragung, bei der die Übertragung zwischen einer infizierten und einer nicht infizierten Zecke über ein nicht infiziertes Wirtstier erfolgen kann, die als Co-feeding bezeichnet wird (Labuda u. a., 1993). Nach der Aufnahme des Blutes infizierter Wirtstiere bzw. des Erregers direkt, kann

⁸Synonym: Central european encephalitis virus (CEEV) eng verwandt: Russisches-Frühjahrs-Sommer-Enzephalitis-Virus, RSSEV, ein Subtyp, der in Osteuropa vorkommt)

⁹Vorhandensein von Viren im Blut

sich das FSMEV in der Schildzecke vermehren und wird mit dem Zeckenspeichel während des nächsten Blutsaugaktes auf die neuen Wirtstiere übertragen. Einmal infizierte Zecken bleiben lebenslang Virusträger und damit potenzielle Überträger des FSMEV. Darüber hinaus findet eine Weitergabe des FSMEV durch infizierte Weibchen auf einen Teil der Eier statt (Randolph u. a., 2002). Das Bestehen des FSMEV ist abhängig von der nicht systemischen Übertragung über Nagetiere, von infizierten *Ixodes ricinus* Nymphen und Larven sowie von der Synchronisierung der saisonalen Aktivitäten der Larven und Nymphen (Randolph u. a., 2002). Randolph u. a. (2002) haben festgestellt, dass sich in den letzten zwei Jahrzehnten die zecken-assoziierte Erkrankungen erhöht haben und ein wesentliches Gesundheitsproblem für Europa darstellen.

3.3 Der Einfluss unterschiedlicher Umweltfaktoren auf FSME bzw. *Ixodes ricinus*

Der Begriff „Umweltveränderungen“ bezeichnet den komplexen Wandel der Umwelt, der als Ergebnis des menschlichen Handelns weltweit auftritt (Sutherst, 2004). Nach Sutherst (1998) sind Umweltveränderungen global und treten in drastischem Maße auf. Es gibt eine Reihe von Verursachern globaler Umweltveränderungen, die die physikalische und soziale Umwelt der Erde so verändern, dass sie auch einen Einfluss auf den Status von VBI haben können. Es wird zwischen Parametern unterschieden, die globalen Ursprungs sind und globale Auswirkungen haben (z. B. Klimaänderung), und denen, die lokalen Ursprungs sind, aber trotzdem ein globales Ausmaß aufweisen (z. B. Flächennutzung, Bewässerung). Umweltveränderungen werden durch menschliches Handeln, das Wirtschaftswachstum und die Fähigkeit des Ökosystems auf solche Umweltveränderungen zu reagieren, beeinflusst. In welchem Maß die Umweltveränderungen in Zukunft auftreten, ist von der Fähigkeit des Ökosystems Erde, eine Pufferfunktion zu erfüllen, abhängig (Sutherst, 2004). Umweltveränderungen haben auch einen erheblichen Einfluss auf die Entwicklung von Infektionskrankheiten. Vor allem VBI können aufgrund ihres komplexen Zusammenspiels von Wirt, Vektor und Pathogen durch Umweltveränderungen stark und vielfältig beeinflusst werden (Tabachnick, 2010).

Abbildung 3.4 zeigt deutlich die Komplexität der Interaktion zwischen

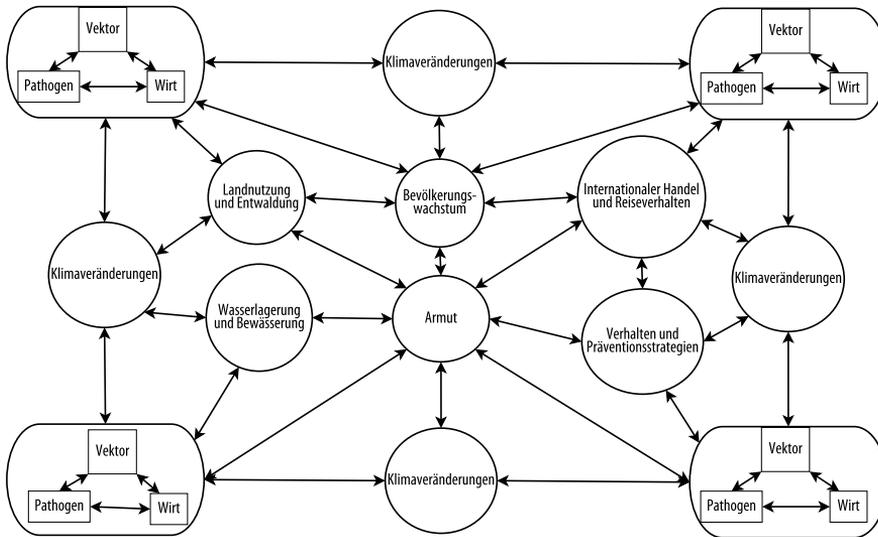


Abbildung 3.4: VBI Episystem mit Interaktionen zwischen ausgewählten Umweltfaktoren und die Auswirkungen auf den Vektor-Erreger-Wirt-Kreislauf (nach Tabachnick (2010))

den im Wandel befindlichen Umweltfaktoren untereinander und den direkten und indirekten Einflüssen auf die VBI. Für dieses umfassende System benutzt Tabachnick (2010) den Begriff des Episystems oder genauer des „VBI-Episystems“. Dieses System besteht aus Vektor, Wirt, Erreger, dem natürlichen Kontrollsystem und den ökologischen Einflussfaktoren innerhalb eines definierten Raum-Zeit-Bereiches (Abbildung 3.4).

Der Krankheitskreislauf, dargestellt durch die Vektor-Erreger-Wirts-Beziehung, wird durch vielfache Faktoren beeinflusst, die ineinandergreifen und/oder auch voneinander abhängen. Abbildung 3.4 ist ein gutes Werkzeug zur Visualisierung des VBI-Episystems. Das Klima hat einen direkten Einfluss auf Vektor, Erreger und Wirt und auf die Interaktion untereinander. Dennoch hat das Klima auch auf andere Faktoren einen Einfluss, die dann wiederum direkt auf das Episystem einwirken. Armut und Bevölkerungsgröße, obwohl auch vom Klima beeinflusst, können ebenfalls auf den VBI-Zyklus einwirken.

In wieweit der Klimawandel ein VBI-Episystem beeinflussen kann bzw. bereits beeinflusst wird kontrovers diskutiert. Nach Lafferty (2009) hat zwar das Klima einen Einfluss auf die Eignung eines Habitats für Infektionskrankheiten,

aber der Klimawandel scheint mehr eine Verschiebung als eine Ausbreitung der Verbreitungsgebiete von Infektionskrankheiten zu verursachen. Dies zeigt z. B. die Untersuchung von Lindgren u. Gustafson (2001), die eine nordwärts gerichtete Ausdehnung des Verbreitungsgebietes der FSME-tragenden Zeckenpopulation in Schweden belegt. Auch im Zusammenhang mit FSME lassen sich eine Vielzahl von Umweltfaktoren identifizieren, die einen Einfluss auf FSME und *Ixodes ricinus* haben. Einen Überblick über relevante Studien, die sich mit FSME und dem Einfluss verschiedener Umweltparameter befassen gibt Tabelle 3.1. Aus den wissenschaftlichen Erkenntnissen über das Zusammenspiel der einzelnen Umweltfaktoren (Tabelle 3.1) lassen sich in Anlehnung an Abbildung 3.4 auch für FSME die Zusammenhänge in einem Diagramm darstellen (Abbildung 3.5).

Die in Abbildung 3.5 dargestellten und als relevant identifizierten Umweltparameter werden in Kapitel 3.3.1 bis Kapitel 3.3.4 erläutert und ihr Einfluss auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* verdeutlicht.

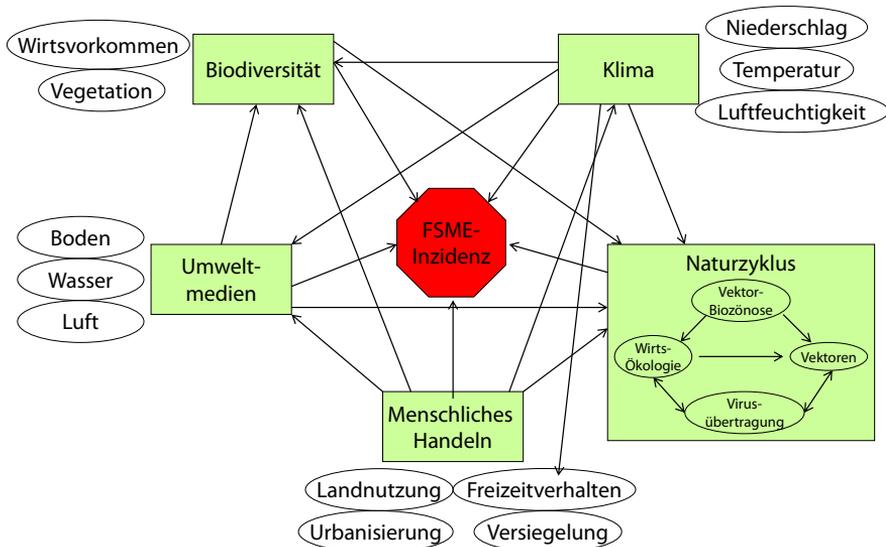


Abbildung 3.5: Interaktion zwischen der Verbreitung von *Ixodes ricinus* und FSME und unterschiedlichen Umweltparametern

Tabelle 3.1: Studien zum Einfluss verschiedener Umweltparameter auf *Ixodes ricinus* bzw. FSME

Umweltfaktoren	Studien	Land
Klima	Danielová u. a. (2004)	Tschechien
	Randolph u. Rogers (2000)	weltweit
	Lindgren u. Gustafson (2001)	Schweden
	Randolph u. a. (2002)	Zentral Europa und Baltikum
	Kriz u. a. (2004)	Tschechien
	Zeman u. Bene (2004)	Tschechien
	Dautel u. a. (2008)	Deutschland
	Gray (2008)	Britische Inseln
	Jaenson u. Lindgren (2011)	Schweden
	Hancock u. a. (2011)	Großbritannien
	Burri u. a. (2011)	Schweiz
Andreassen u. a. (2012)	Norwegen	
Landnutzung	Vanwambeke u. a. (2010)	Lettland
Wirtsvorkommen / Biodiversität	Skarphéðinsson u. a. (2005)	Dänemark
	Jaenson u. Lindgren (2011)	Schweden
	Burri u. a. (2011)	Schweiz
	Jaenson u. Lindgren (2011)	Schweden
	Jaenson u. Lindgren (2011)	Schweden
	Meyer-Kayser u. a. (2012)	Deutschland
Vegetation / Biodiversität	Cerny (1965)	Tschechien
	Lindström u. Jaenson (2003)	Schweden
	Rácz u. a. (2006)	Ungarn
	Jaenson u. Lindgren (2011)	Schweden
	Tack u. a. (2012a)	Belgien

3.3.1 Klima

Klimaveränderungen umfassen verschiedene Parameter wie z. B. Temperatur, Niederschlag, Windstärke und den Anstieg des Meeresspiegels (Solomon u. a., 2007). Einige dieser Parameter können in vielerlei Hinsicht Einfluss auf die Übertragung von FSME und die Verbreitung von *Ixodes ricinus* haben (Abbildung 3.5). Verschiedene physikalische und biologische Umweltveränderungen stehen nach Sutherst (2004) im Zusammenhang mit der Erwärmung der Erdoberfläche. Viele biologische Effekte, wie z. B. Veränderungen in der Spezieszusammensetzung und in der Struktur bzw. Funktion von Ökosystemen, aber auch geographische Veränderungen, können mit Klimaveränderungen im Zusammenhang stehen (Jaenson u. Lindgren, 2011).

In Europa werden sich im 21. Jahrhundert die Klimaänderungen je nach Region sehr unterschiedlich ausprägen. Nach Solomon u. a. (2007) ist davon auszugehen, dass sich die Jahresmitteltemperatur tendenziell erhöht, jedoch mit starken regionalen und jahreszeitlichen Unterschieden. In Nordeuropa wird wahrscheinlich die Erwärmung im Winter größer sein. Im Gegenzug wird es dann aber im Mittelmeerraum die größte Erwärmung im Sommer geben. Im Winter wird wahrscheinlich der Nordosten Europas mit ca. 5 °C die stärkste Temperaturzunahme erfahren, wohingegen im Sommer der Südwesten mit einer Erwärmung von 4-5 °C die höchste Erwärmung aufweist. Bezüglich der Niederschläge wird ein starkes Nord-Süd-Gefälle vermutet. Im jährlichen Mittel steigen die Niederschläge in Nordeuropa wahrscheinlich um ca. 9% an, in Südeuropa nehmen sie um 12% ab. Die stärkste Zunahme findet in Nordeuropa wahrscheinlich im Winter mit 15% statt, die stärkste Abnahme im Sommer in Südeuropa mit -24%. Für Südeuropa kann außerdem angenommen werden, dass auch in den anderen Jahreszeiten die Niederschläge abnehmen, aber weniger stark als im Sommer. In Mitteleuropa wird es wahrscheinlich im Sommer weniger regnen, wohingegen es im Winter zur Zunahme der Niederschläge kommen wird. Die Dauer der Schneesaison wird sich sehr wahrscheinlich in ganz Europa verkürzen und es dürfte sich ebenfalls in den meisten Ländern Europas die Schneehöhe verringern (Solomon u. a., 2007).

Einige Phänomene des Klimawandels konnte das UBA¹⁰ für Deutschland festhalten. Hinsichtlich der Temperaturentwicklung zeigt sich, dass in Deutschland, wie im weltweiten Durchschnitt, die 1990er Jahre das wärmste Jahrzehnt

¹⁰Umweltbundesamt

im 20. Jahrhundert waren. Die Jahresmitteltemperatur hat zwischen den Jahren 1881 und 2011 um ca. 1,2 °C zugenommen (Abbildung 3.6).

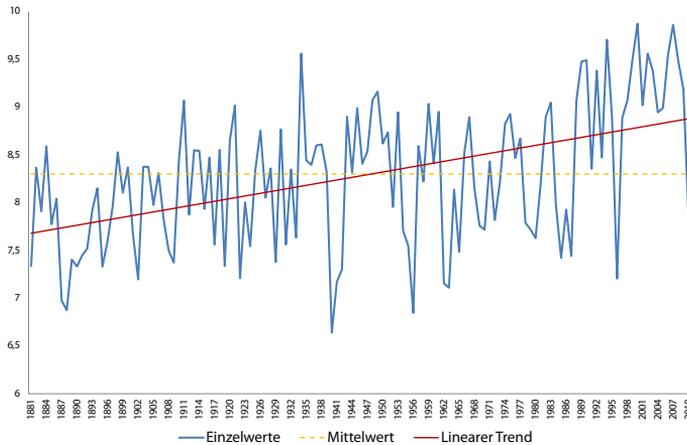


Abbildung 3.6: Mittlere Tagesmitteltemperatur für die Jahre 1881 - 2011 in Deutschland

Ein überdurchschnittlich hoher Temperaturanstieg konnte in Süd- und Südwestdeutschland in der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts festgestellt werden. Zusätzlich wurde in Deutschland ein Trend zu einer stärkeren Erhöhung der Lufttemperatur im Winter als im Sommer beobachtet. So betrug in Deutschland die Erwärmung in der Periode von 1981 bis 2000 in den Wintermonaten 2,3 °C, in den Sommermonaten nur 0,7 °C. Aus diesem veränderten Temperaturniveau resultiert, wie auch für ganz Europa, eine Änderung der Eintrittszeit und Dauer der einzelnen Jahreszeiten. Vor allem der phänologische¹¹ Frühling hat sich zeitlich nach vorne verschoben (Umweltbundesamt, 2012).

Aufgrund dieser zu erwartenden Klimaänderungen kommen auf *Ixodes ricinus* und seinen Lebensraum einige Veränderungen zu, auf die die Zecke wahrscheinlich mit einer Ausdehnung oder Verschiebung ihres Habitats reagieren wird (Jaenson u. a., 2012a). Das Klima kann sich sehr unterschiedlich auf den Krankheitserreger, die Zecke und die Wirtstiere auswirken. Direkten Einfluss auf *Ixodes ricinus* hat das Klima und die damit verbundenen

¹¹Jahresablauf: periodisch wiederkehrende Entwicklungserscheinungen in der Natur

Veränderungen der Jahreszeiten hinsichtlich der Zeckenaktivität, der Zeckenentwicklung und der Überlebenschance der Zecken (Gray, 2008). Das Klima in Kombination mit der Veränderung der Spezieszusammensetzung scheint unter anderem dafür verantwortlich zu sein, dass sich *Ixodes ricinus* z. B. in Schweden bis zu 66°N entlang der Ostseeküste, in den Flusstälern und an den größeren Seen etablieren konnte (Lindgren u. a., 2000). Nach Jaenson u. a. (1994) lag die nördliche Grenze für *Ixodes ricinus* 1994 noch ungefähr bei 61°N. In Norwegen konnte von Jore u. a. (2011) ebenfalls festgestellt werden, dass sich *Ixodes ricinus* auch hier im Breiten- und Längengrad immer weiter ausbreitet.

Obwohl *Ixodes ricinus* recht winterhart ist und relativ niedrige Temperaturen von -14,4 °C bis -18,9 °C für 24 Stunden überleben kann, sterben vor allem die empfindlichen Entwicklungsstadien wie ungesättigte Nymphen sowie Nymphen und Larven, die sich in der Diapause befinden, bei niedriger Temperatur. Darüber hinaus sind auch Zecken in der Häutungsphase äußerst empfindlich. Bei nicht ausreichend hohen Sommertemperaturen können die Zecken keinen vollständigen Entwicklungszyklus durchlaufen. Folglich wird der Großteil dieser Zecken auch einen moderaten Winter nicht überleben, da es zu einer Stagnierung der Entwicklung von *Ixodes ricinus* unterhalb von 7 bis 10 °C kommt (Randolph, 2004). Das Problem eines etwas wärmeren und ggf. feuchten Winters ist für *Ixodes ricinus* außerdem, dass es leicht zu einer Schädigung der Zecke durch Pilze kommen kann. Ein stärkerer, mit Schnee und Frost geprägter Winter hingegen lässt *Ixodes ricinus* in Winterstarre fallen (Sonenshine, 1993).

Im Zusammenhang mit dem Anstieg der Temperaturen in Europa und den damit verbundenen mildereren Wintern (wenige Tage mit Temperaturen unter 7 °C) und ausgedehnterer Frühlings- und Herbstsaison (mehr Tage mit einer Minimumtemperatur nicht unter 5-8 °C) konnte eine saisonale Verschiebung und ein verstärktes FSME-Vorkommen festgestellt werden (Daniellová u. a., 2004; Hancock u. a., 2011; Lindgren u. Gustafson, 2001; Zebisch u. a., 2005; Zeman u. Bene, 2004). Dieses lässt sich jedoch nicht zwangsläufig auf ein stärkeres Auftreten oder eine beschleunigte Entwicklung von *Ixodes ricinus* zurückführen. Vielmehr scheint *Ixodes ricinus* seine Aktivität und das Durchleben der unterschiedlichen Entwicklungsstadien zu verschieben, möglicherweise aufgrund des langen Lebenszyklus der Zecken mit ihren unterschiedlichen klimaabhängigen Stadien (Macleod, 1932). Der Zeckenpopulation wird es ermöglicht die Diapausen in einem anderen Zeitfenster

durchzuführen, so dass es zu einer Veränderung des Musters der saisonalen Zeckenaktivität kommt (Gray, 2008; Hancock u. a., 2011).

Der Anstieg der Temperatur verursacht nicht nur eine saisonale Verschiebung des FSME-Vorkommens, sondern ermöglicht die Ausweitung des Habitats von *Ixodes ricinus* auf größere Höhen. Zum Beispiel kam *Ixodes ricinus* in Tschechien bis zu einer Höhe von 700 m ü. NHN vor, in der Studie von Danieľová u. a. (2004) konnten jedoch auch Zecken auf 1200 m ü. NHN angetroffen werden. Die klimabedingten Veränderungen der Ökologie von *Ixodes ricinus* und die damit verbundene Veränderung der Populationsdichte könnten zu einem vermehrten Auftreten von *Ixodes ricinus* geführt haben.

Eine hohe Flexibilität zeigt *Ixodes ricinus* auch in Verbindung mit der Aktivität im Winter. Es wird davon ausgegangen, dass in Zentraleuropa Adulte und Nymphen ihre suchaktive Phase auf die Monate März bis Oktober und die Larven auf den Monat Mai beschränken (Gray u. a., 2009). Dautel u. a. (2008) zeigen jedoch für Deutschland, dass sich *Ixodes ricinus* sehr gut an sich lokal verändernde Bedingungen anpassen und seine suchaktive Phase ausdehnen bzw. verschieben kann. Es konnte auf einem Untersuchungsfeld in Berlin nachgewiesen werden, dass ein überdurchschnittlich warmer Herbst im Jahr 2006 in Kombination mit einem ebenfalls warmen Winter im Jahr 2007 die Suchaktivität für Nymphen und Adulte auf die Monate November bis März ausweitet. Darüber hinaus wurden auch für verschiedene Bundesländer genau in dieser Zeit außergewöhnlich viele FSME-Fälle gemeldet. Es kann also davon ausgegangen werden, dass in mehreren Teilen Deutschlands die Zeckenaktivität für diese Monate angestiegen war.

Falls die Wintertemperaturen zukünftig weiterhin ansteigen, kann vermutet werden, dass es nur noch sehr kurze Perioden im Jahr geben wird, in denen *Ixodes ricinus* nicht aktiv ist. Durch die vermehrte Winteraktivität von *Ixodes ricinus* steigt das Risiko eines Zeckenbisses und damit einer verbundenen FSME-Infektion für z. B. Waldbesucher, weil Zecken zu dieser Jahreszeit nicht erwartet und folglich weniger Schutzmaßnahmen angewendet werden (Gray, 2008). Hinsichtlich eines wärmeren Winters ist auch unklar, wie sich die Chancen für *Ixodes ricinus* im Winter einen passenden Wirt zu finden verändern werden, ob *Ixodes ricinus* durch die Winteraktivität wertvolle Energie verliert und so das Aktivitätsmuster für die restliche Saison anpassen muss. Außerdem könnte durch einen wärmeren Winter und so ggf. ein schnelleres Ansteigen der Frühlingstemperatur die Aktivitätsänderung der Nymphen und Adulten so ändern, dass der FSME-Kreislauf beeinflusst

werden kann (Dobson u. Randolph, 2011), denn ein schnelles Ansteigen der Frühlingstemperatur fördert das Co-feeding von Larven und Nymphen an Nagetier-Wirten (Sumilo u. a., 2007). Die Infektion von *Ixodes ricinus* Larven während des Co-feedings ist ein entscheidender Schritt in der Zirkulation des FSME-Krankheitserregers. Aber auch die Auswirkungen einer erhöhten Umgebungstemperatur auf die saisonale Aktivität der Larven und ihre Chancen einen geeigneten Wirt zu finden sind von großer Bedeutung für den Naturzyklus von FSME (Gray, 2008).

Ixodes ricinus scheint auch in Bezug auf die Suchaktivitäten im Sommer recht flexibel zu sein. Nach einem heißen Sommer steigt die Wirtssuchaktivität von *Ixodes ricinus* im Herbst wahrscheinlich an, mit einer reduzierten Aktivität im Winter, um dann im frühen Frühling wieder stärker zu werden (Estrada-Peña u. a., 2004). Es wird zwar davon ausgegangen, dass ein warmer Sommer mit wenig Niederschlag, also eine niedrige relative Luftfeuchte das Überleben und die Aktivität von *Ixodes ricinus* negativ beeinflusst (Andreasen u. a., 2012; Perret u. a., 2000). Ist jedoch entsprechende Vegetation vorhanden, die eine Dehydrierung von *Ixodes ricinus* verhindert, lässt sich eine Zeckenaktivität über die ganze Trockenperiode nachweisen (Gray, 2008).

Indirekte Auswirkungen des Klimawandels auf *Ixodes ricinus* können auf die Veränderung der Flora- und Faunazusammensetzung, der Langzeit-Landnutzung (z. B. Tourismus, Landwirtschaft), sowie kurzzeitige Änderungen des menschlichen Verhaltens (z. B. Sammelsaison für Pilze und Blaubeeren, Picknicksaison) zurückgeführt werden (Gray u. a., 2009).

Das Klima scheint einer von mehreren Schlüsselfaktoren zu sein, der für das Vorkommen und die Ausbreitung von *Ixodes ricinus* und FSME verantwortlich ist (Jaenson u. a., 2012a). Dennoch ist die konkrete Rolle der Klimaveränderungen unklar. Klimatische Effekte sind zwar in der Nähe der geographischen Ausbreitungsgrenzen von Vektor und VBI leichter erkennbar, das Ausmaß der Auswirkungen des Klimawandels in einem endemischen Gebiet hängt jedoch von den örtlichen Gegebenheiten und der Anfälligkeit ab. Der Einfluss auf die Verbreitung von *Ixodes ricinus* und FSME hängt nicht nur von ökologischen Faktoren ab, sondern auch von sozioökonomischen Faktoren, Migration und Urbanisierung, biologischer Vielfalt, Muster des Vogelzugs, Landnutzung und Änderungen in der Bodenbedeckung, menschliche Kultur- und Verhaltensmuster, sowie die Immunität in der Population (Kriz u. a., 2004). Da einige dieser Bedingungen wiederum durch den Klimawandel beeinflusst werden, sind die Einflussgrößen komplex miteinander

verkettet, so dass es oft schwierig ist die genauen Faktoren, die für Veränderungen im Auftreten der VBI verantwortlich sind, zu bestimmen. Eine weitere Schwierigkeit bei der Bestimmung zukünftiger Szenarien ist durch die Tatsache gegeben, dass die vorherrschende Zeckenart in Europa, *Ixodes ricinus* extrem flexibel und anpassungsfähig ist und ziemlich unterschiedliche saisonale Aktivität auch in angrenzenden Teilen seiner geographischen Ausbreitung aufweisen kann (Gray u. a., 2009; Liebisch u. Liebisch, 2003).

3.3.2 Urbanisierung, Landnutzung, Verhalten

Die Population der Menschen ist von einer Billion am Anfang des 20. Jahrhunderts bis auf sechs Billionen Menschen am Ende des 20. Jahrhunderts angestiegen. Im Zuge der Urbanisierung¹² wird es nach Sutherst (2004) bis 2030 eine Zunahme der städtischen Bevölkerung bis auf fünf Billionen Menschen geben. Weltweit zieht es immer mehr Menschen vom Land in die Stadt, da es dort vielversprechender erscheint, einen Arbeitsplatz zu finden. Die Städte dehnen sich, durch den konstanten Bau neuer Häuser, Straßen und Versorgungseinrichtungen, immer weiter in die Natur aus. Vor allem eine dichtere Besiedlung der FSME-Endemiegebiete könnte mit einem Anstieg der FSME-Fallzahlen im Zusammenhang stehen.

Als Folge der steigenden Bebauung der Stadtgebiete und der ländlichen Räume dringt der Mensch in Freizeit und Beruf zunehmend in den Lebensraum der Zecken ein und verändert die Lebensgrundlage von *Ixodes ricinus*. Die für *Ixodes ricinus* äußerst wichtige Zusammensetzung der Vegetation kann sich ändern (siehe Kapitel 3.3.4). Zwar wird ein Teil des Habitats durch die einseitige ackerbauliche und forstwirtschaftliche Nutzung sowie durch Bebauung zerstört, dennoch scheint sich *Ixodes ricinus* in Gärten, Parks, Stadtwäldern und an Wegrändern in Siedlungsräumen fest etablieren zu können (Liebisch u. a., 1995).

Die in Abbildung 3.7 dargestellte Wirt-Erreger-Umwelt-Beziehung wird sich durch die Zerschneidung der Lebensräume und die Abnahme der Biodiversität im Zuge des Wandels der Landnutzung stark verändern (Sutherst, 2004). Die zunehmende Weltbevölkerung (ESA, 2001) dringt in Bereiche ein, die bis jetzt noch durch Wälder bedeckt sind und verursacht eine Intensi-

¹²Vermehrung, Ausdehnung oder Vergrößerung von Städten nach Zahl, Fläche oder Einwohner (Heineberg, 2000). Urbanisierungsparameter: Versiegelungsgrad, Veränderungen in der Landnutzung, Einwohnerdichte und Veränderungen in der Stadtstruktur.

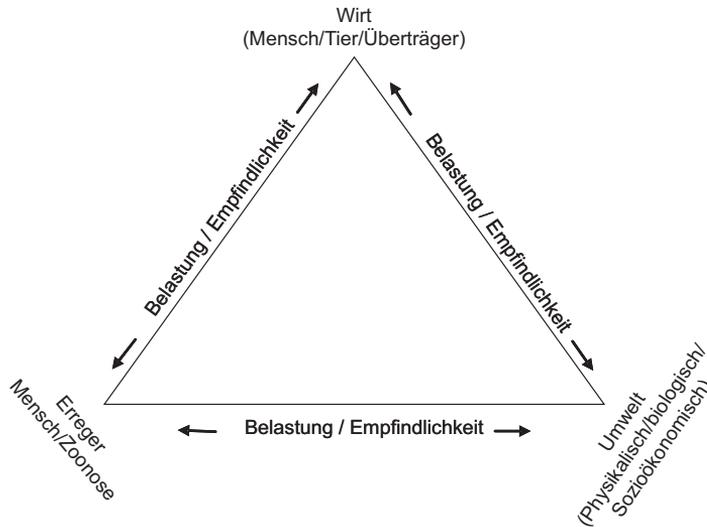


Abbildung 3.7: Pathogenitätsdreieck: Zur Unterstützung der Risikoabschätzung von VBI im Zuge des globalen Wandels (nach Sutherst (2004))

vierung der Landwirtschaft. Zunehmend werden Gebiete abgeholzt und die vermehrte Lagerung, Versorgung und Verteilung von Wasser ist notwendig (Sutherst, 2004). Somit verändert sich der Lebensraum der Wirts- und Reserviertiere, die zur Aufrechterhaltung des Naturzyklus (Kapitel 3.2.3) notwendig sind und damit auch die Lebensgrundlage von *Ixodes ricinus* darstellen. Folglich sinkt in stark zerschnittenen Gebieten und Gebieten mit intensiver Land- und Waldwirtschaft die Verbreitung von FSME (Vanwambeke u. a., 2010).

In einer Studie haben Kriz u. a. (2004) untersucht, inwieweit der Anstieg an FSME-Erkrankungen in Tschechien in den 1990er Jahren mit den ökonomischen und sozialen Veränderungen im Zuge der „Samtenen Revolution“¹³ zusammenhing. Berücksichtigt wurde u. a. die Entwicklung der Altersstruktur und der Geschlechter in Tschechien. Die verhaltens- und sozioökonomischen Aspekte haben sich jedoch trotz des politischen Wechsels nicht geändert, so dass die Untersuchung keine Hinweise für die Ursachen des Inzidenzanstieges gibt. Jedoch gelang es Vanwambeke u. a. (2010) einen solchen Zusammenhang in Litauen herzustellen. Sie haben festgestellt, dass es

¹³tschech.: sametová revoluce; politischer Systemwechsel der Tschechoslowakei vom autoritären Sozialismus zu einem demokratischen System im Herbst 1989

eine negative Korrelation zwischen dem Ausbildungsniveau bzw. Einkommen und der FSME-Infektionsrate gibt.

In Deutschland lebten im Jahr 2009 rund 81 Millionen Menschen, die sich besonders in den großen Städten und deren Umland konzentrierten (Statistisches Bundesamt, Deutschland, 2012), so dass sich auch in Deutschland Anzeichen einer Urbanisierung beobachten lassen. Es existieren jedoch keine Untersuchungen über einen potentiellen Einfluss der Urbanisierung auf die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus*, da die wichtigen Einflussfaktoren der Urbanisierung schwierig zu definieren sind und sie sich zusätzlich einer exakten naturwissenschaftlichen Analyse entziehen (Kampen, 2005).

Die bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnte Veränderung des Lebensraumes von *Ixodes ricinus* führt nicht zwangsläufig zu einem Rückgang der Zecken-Population, sondern zu einer Verlagerung der Zeckenhabitats. Dadurch ist ein vermehrter Kontakt zwischen Mensch und Zecke möglich und die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung von FSME steigt (Horst, 2003). Hier könnte es auch einen indirekten Zusammenhang zu den Klimaveränderungen geben. Möglicherweise könnte beispielsweise ein starker Anstieg an FSME-Erkrankungsfällen in Deutschland in der 27. bis 30. Kalenderwoche des Jahres 2003 im Zusammenhang mit einer Hitzewelle über mehrere Wochen stehen (Dobler u. a., 2005). Bei hohen Temperaturen scheinen sich Menschen vermehrt in der Natur aufzuhalten, so dass sich die Wahrscheinlichkeit mit Zecken und damit auch mit dem FSME Virus in Kontakt zu kommen, erhöht.

Weiterhin besteht der Verdacht, dass es einen Zusammenhang zwischen Erholung und der Verbreitung von FSME gibt. Zum Beispiel besitzen viele Tschechen Ferienhäuser im eigenen Land. Gerade in den Gebieten mit einer großen Ferienhausdichte scheint es zu einem verstärkten Auftreten von FSME zu kommen (Zeman u. a., 2010). Auch in Schweden finden sich der Großteil der FSME-Fälle in den typischen Urlaubsregionen mit z. T. hoher Ferienhausdichte, wie der Ostküste bei Stockholm, den Seen Vättern, Vänern und Mälaren, sowie Teilen der Westküste bei Göteborg (Smittskyddsinstitutet, 2011). Es konnte zwar keine direkte Korrelation zwischen dem Auftreten von FSME und den Gebieten hergestellt werden, dennoch sollte nicht ausgeschlossen werden, dass auch dieser Parameter für die FSME-Verbreitung mitverantwortlich sein könnte (Zeman u. a., 2010). In punkto Erholung und FSME scheinen auch Outdooraktivitäten, wie Camping, Jagen, Golfen oder Radfahren, eine nicht unerheblich Rolle zu spielen, vor allem in Kombination mit der erhöhten Mobilität. Ein Großteil der Europäer verreisert innerhalb

Europas, jedoch meistens ohne sich über mögliche Risiken bezüglich FSME aufzuklären (Süss, 2011). Darüber hinaus finden zum einen diese Outdooraktivitäten meist in Bereichen mit hoher Zeckendichte statt (Jensenius u. a., 2006). Zum anderen korreliert auch noch die Hauptreisezeit für Europa mit der Zeckensaison, so dass das bestehende Risiko eines Zeckenbisses noch erhöht wird (Kunze, 2008).

3.3.3 Wirtsvorkommen und Biodiversität

Ixodes ricinus ist eine euphage Zecke, ein Parasit mit einer großen Anzahl verschiedener Arten von Wirbeltierwirten. Nach Anderson (1991) parasitiert *Ixodes ricinus* an 148 Säugetier-, 149 Vogel- und 20 Reptilienarten im gesamten Verbreitungsgebiet. In Deutschland zählen 35 Säugetier-, 45 Vogel- und einige Reptilienarten zu seinen Wirtstieren (Walter u. Liebisch, 1980). Je nach Entwicklungsstadium bevorzugt *Ixodes ricinus* verschiedene Wirtstiere. Larven und Nymphen präferieren vor allem Nagetiere (Langschwanzmäuse (*Apodemus spec.*) und Wühlmäuse (*Microtus arvalis*)), Spitzmäuse (*Sorex spec.*) und Feldhasen (*Lepus spp.*) (Bowman u. Nuttall, 2008; Tälleklint u. Jaenson, 1996, 1997). Besonders die Nagetiere und Spitzmäuse scheinen für die Aufrechterhaltung des Naturzykluses des FSME-Virus verantwortlich zu sein (Randolph u. a., 1999) (siehe Kapitel 3.2.3). Wohingegen Vögel zwar von den unreifen Zecken als Wirtstiere genutzt werden, jedoch vorwiegend für die Ausbreitung von *Ixodes ricinus* über eine lange Distanz verantwortlich sind (Jaenson u. a., 1994). Auch große Waldtiere wie Hirsche tragen aufgrund ihrer hohen Mobilität im wesentlichen zur Verteilung der virusinfizierten Zecken bei (Dobler u. a., 2005). Die Hirsche werden jedoch vor allem von den adulten Zecken als Wirtstiere genutzt (Vor u. a., 2010).

Im Zusammenhang mit der Verbreitung der Wirtstiere und der Ausbreitung von FSME gibt es eine Vielzahl von Faktoren, die für den Anstieg der FSME-Fälle mitverantwortlich sein könnten. Nach Sumilo u. a. (2008b) könnte die Zunahme an Kulturland und die Reduzierung des Gebrauchs von Pestiziden sowie der industriellen Verschmutzung dazugehören, denn diese Faktoren haben einen positiven Effekt auf die Wirtstierhabitate und die Wirtstiere selbst. Darüber hinaus hat auch das veränderte Jagdverhalten einen Einfluss auf die Verbreitung der größeren Säugetiere wie der Hirsche. Folglich haben die wirtssuchenden Zecken eine höhere Chance ein passendes Wirtstier zu finden.

Als eine weitere mögliche Erklärung für die FSME-Ausbreitung könnten auch hier die Klimaveränderungen (siehe Kapitel 3.3.1) herangezogen werden. Die vermutete Erwärmung des Klimas könnte auf der einen Seite im Norden Skandinaviens die Zunahme der Biomasse, hauptsächlich in Form von jungen Bäumen, zur Folge haben (Swedish Forest Agency, 2007). Eine Steigerung des Futters verbessert natürlich die Lebensbedingungen vieler Wirtstiere. Auf der anderen Seite führt das mildere Wetter zur Eroberung neuer Habitate. Zum Beispiel kamen bislang das Rehwild und der Feldhase nicht im Norden Skandinaviens vor. Dies könnte sich aber durch das vermehrte Futterangebot in Kombination mit den weniger starken Wintern ändern. Im Gegenzug kommt die Erwärmung des Klimas einigen Wirtstieren von *Ixodes ricinus* nicht entgegen. Es ist damit zu rechnen, dass sich die wärmeempfindlichen Hirsche, speziell die Elche, aus dem Süden Skandinaviens zurückziehen. Folglich ändert sich in diesen Regionen das Angebot an Wirtstieren für die adulten Zecken (Smittskyddsinstitutet, 2011).

3.3.4 Vegetation/Biodiversität

Als Lebensraum bevorzugt *Ixodes ricinus* in den gemäßigten Klimazonen Misch- und Nadelwälder, die aus ursprünglichen Laubwäldern aus Eichen und Hainbuchen (*Querceto-Carpinetum*) entstanden sind (Sonenshine, 1993). Diese Misch- und Nadelwälder enthalten zum einen ein vielfältiges Artenspektrum mit den entsprechenden Wirtstieren. Zum anderen schafft eine vorhandene Kraut- und Strauchschicht ein geeignetes Mikroklima mit genügend Feuchtigkeit für jedes Zeckenstadium. Nach Kurtenbach u. a. (1995) ist die Existenz einer Krautschicht eine wichtige Voraussetzung für das Zeckenvorkommen. Dieser Bereich kann eine Pufferzone zwischen der feuchten Bodenschicht und der äußeren Atmosphäre mit einer relativen Luftfeuchte von 90% bilden. Dies verhindert das Austrocknen von *Ixodes ricinus* während der trockenen Sommermonate (siehe Kapitel 3.3.1). Eine ebenfalls gute Pufferzone bietet anscheinend die Laubschicht der Eiche (*Quercus*), Erle (*Alnus*) und Hasel (*Corylus*), auch hier lässt sich eine hohe Zeckendichte nachweisen (Lindström u. Jaenson, 2003; Tack u. a., 2012a). Die hier vorgefundene hohe Zeckendichte hängt jedoch auch mit der Umstand zusammen, dass diese Laubwälder einen beliebten Lebensraum für die Wirtstiere von *Ixodes ricinus* darstellen, da hier ausreichend Nahrung und Schutz für die Tiere vorhanden ist (Tack u. a., 2012a) (Kapitel 3.3.3).

Der Lebensraum Wald hat sich jedoch stark gewandelt bzw. reduziert. Nach der DSW (1999) hat die Waldfläche pro Kopf mit dem Wachstum der Bevölkerung und mit dem Rückgang der Wälder ständig abgenommen. 1995 konnten weltweit 3,45 Milliarden ha Wald auf der Erde festgestellt werden, davon 14,6 Millionen ha (4,2%) in Europa. Zwischen 1990 und 1995 wurde ein weltweiter Waldverlust von ca. 56,3 Millionen ha registriert. Deutschland weist eine Waldfläche von 11.075.798 ha auf (DSW, 1999). Es gibt im Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg auf einer Fläche von 14 000 km² (39% der Landesfläche) 65% Nadelbäume und 35% Laubbäume (LUBW, 2003).

Für Schweden hat und wird sich die Zusammensetzung der Wälder ebenfalls ändern. Ein niedriger Grundwasserspiegel im Sommer ist für viele sommergrüne Baumarten mit hohem Laubanteil ein limitierender Faktor. Da der Grundwasserspiegel vor allem in Südschweden in den Sommermonaten stark zurückgeht, wird angenommen, dass sich die Eiche in dieser Region durchsetzen kann und *Ixodes ricinus* dort ein optimales Habitat findet (Jaenson u. Lindgren, 2011). Zusätzlich werden Eiche (*Quercus*), Erle (*Alnus*) und Hasel (*Corylus*) wahrscheinlich den verlängerten Vegetationsperioden Richtung Norden folgen (Commission in Climate and Vulnerability, 2007) und *Ixodes ricinus* wird dann auch an diesen Standorten optimale Bedingungen vorfinden. Hervorzuheben ist, dass die Erle (*Alnus*), besonders die Schwarz-Erle (*Alnus glutinosa*), vor allem im Marschland sowie an See- und Flussufern vorkommt. In Schweden sind diese Gebiete typisch für ein erhöhtes FSME-Vorkommen. Aber auch für Norwegen und Finnland ist eine solche Entwicklung der Vegetation und somit auch eine Ausweitung der Verbreitung von *Ixodes ricinus* denkbar (Jaenson u. Lindgren, 2011). Darüber hinaus wird sich mit großer Wahrscheinlichkeit die Gemeine Fichte (*Picea abies*) aus Zentraleuropa zurückziehen. Im Gegenzug kann sich aber die Rotbuche (*Fagus sylvatica*) in diesen Gebieten gut durchsetzen (Dobbertin u. Giuggiola, 2006), so dass *Ixodes ricinus* durch das dann liegende Laub auch hier ein optimales Mikroklima vorfindet.

Die forstwirtschaftliche und landwirtschaftliche Praxis und deren Gesetzgebung könnten ggf. einen noch größeren Einflussfaktor auf die Verteilung der Baum- und Pflanzenarten darstellen als das Klima (Jaenson u. Lindgren, 2011) (siehe Kapitel 3.3.2).

3.3.5 Auswirkungen komplexer Umweltfaktoren auf die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus*

Wie bereits in Kapitel 3.3.1 erwähnt hat der Klimawandel für FSME eine große Bedeutung. Dennoch kann der Klimawandel allein keine zufriedenstellende Erklärung der zeitlichen, räumlichen und sehr heterogenen Verteilung von zecken-assoziierten Erkrankungen bieten, ebenso wenig wie die anderen einzelnen Umweltfaktoren (Kapitel 3.3). Das Problem des Infektionsrisikos für Menschen ist komplexerer Natur. Die Vektordichte und -aktivität sowie die Verbreitung der Pathogene variieren in Raum und Zeit. Das Risiko einer Erkrankung steigt mit der Dichte und Aktivität der infizierten Zecken (Kahl u. Knülle, 1988). Zusammen mit den Aktivitäten des Menschen, und somit möglichen Kontakt mit natürlichen Herden von *Ixodes ricinus*, bilden diese Faktoren das Infektionsrisiko. Das menschliche Verhalten kann die Infektionsgefahr durch z. B. den Gebrauch von wirkungsvollen Zeckenabwehrmitteln und Schutzimpfungen beträchtlich ändern (Banzhoff u. a., 2008).

Wie in Abbildung 3.4 dargestellt, beeinflusst eine Vielzahl von Umweltfaktoren die Verbreitung von VBI, und somit auch von FSME. Neben dem direkten Einfluss auf FSME können sich die Umweltfaktoren auch gegenseitig beeinflussen und in Kombination auftreten. Es ist wichtig, möglichst viele der Umweltparameter zu untersuchen, um das komplexe Zusammenspiel zwischen Erreger, Überträger und Umwelt zu erfassen. Die komplexe Wirkung der Umweltfaktoren auf die Verbreitung von FSME ist von großer Relevanz, wurde bislang jedoch nur vereinzelt untersucht.

Eine Studie von Kiffner u. a. (2012) befasst sich z. B. mit dieser Problematik und untersuchte die Veränderungen in der räumlichen Verteilung von FSME-Fällen in Süddeutschland. Dazu wurde ein zeitlich versetztes, räumlich gewichtetes Modell erstellt, welches neben biotischen und abiotischen Parametern, die FSME-Inzidenz in 140 Landkreisen Süddeutschlands aus einem Zeitraum von acht Jahren beinhaltet. Eine positive Korrelation mit der FSME-Inzidenz in der Bevölkerung konnte, unter Berücksichtigung von unerklärter räumlicher und zeitlicher Variation, bezüglich der Waldart, der Waldfläche und der indizierten Rehwilddichte (*Capreolus capreolus*) im Vorjahr festgestellt werden. Frühjahrserwärmung, Waldfragmentierung, Rotwild- und (*Cervus elaphus*) Rotfuchsdichte (*Vulpes vulpes*) im Vorjahr waren hingegen negativ korreliert mit der FSME-Inzidenz. Kiffner u. a. (2012) konnten mit ihrem Modell zwar einige erklärende Variablen identifizieren. Es ist jedoch

anzunehmen, dass zusätzliche erklärende Variablen fehlen, die das Modell vervollständigen würden.

Eine ebenfalls vielschichte Untersuchung, jedoch bezüglich der Verbreitung von *Ixodes ricinus*, haben Li u. a. (2012) durchgeführt. Mit einer abhängigen Variable über die Zeckendichte im Untersuchungsgebiet und den unabhängigen Variablen Wetter, Habitatsqualität und Jagdstrecke wurde eine umfangreiche statistische Analyse durchgeführt, um mögliche Zusammenhänge innerhalb dieser Umweltparameter bezüglich der zeitlich-räumlichen Dynamik von *Ixodes ricinus* aufzudecken. Es konnte festgestellt werden, dass sowohl die relative Luftfeuchtigkeit, die Temperatur und die Windgeschwindigkeit als auch die Waldzusammensetzung sich auf das Suchverhalten der Nymphen und Adulten Zecken auswirken.

Aber auch die Studien von Kriz u. a. (2004), Sumilo u. a. (2008a) und Schwarz u. a. (2009) untersuchen die Zusammenhänge zwischen Umweltparametern und der FSME-Ausbreitung. Dennoch konnten bislang nicht alle Parameter, die einen Einfluss auf *Ixodes ricinus* bzw. FSME haben, aufgedeckt werden, so dass nach wie vor ein enormer Forschungsbedarf diesbezüglich besteht (Estrada-Peña u. a., 2012; Randolph, 2010; Sumilo u. a., 2007).

3.4 Das FSME-Endemiegebiet Baden-Württemberg

Baden-Württemberg liegt im Südwesten Deutschlands. Im Osten grenzt es an Bayern, im Norden an Bayern und Hessen. Seine Süd- und Westgrenze wird durch Rhein und Bodensee gebildet (mit kleinen Ausnahmen wie Schaffhausen), wobei die Schweiz der südliche, Frankreich und Rheinland-Pfalz die westlichen Nachbarn sind (Weber, 2003). Nach dem statistischen Landesamt Baden-Württemberg ist Baden-Württemberg mit einer Fläche von 35.751,65 km² und einer Einwohnerzahl von 10.786.000 Einwohnern das drittgrößte deutsche Bundesland. Ein Großteil der Bevölkerung lebt in den Städten Stuttgart (613.392 Einwohner), Mannheim (314.931 Einwohner) und Karlsruhe (297.488 Einwohner). Im Durchschnitt leben auf einem Quadratkilometer 298 Einwohner (Bundesgebiet: 231). Laut dem statistischem Bundesamt weist Baden-Württemberg mit einem Bevölkerungswachstum von 9,7% zwischen 1999 und 2005 den größten Bevölkerungszuwachs im Vergleich zu anderen deutschen Bundesländern auf. Den 5,32 Millionen männlichen Einwohnern stehen 5,46 Millionen Frauen gegenüber.

Baden-Württemberg ist geprägt durch große zusammenhängende Waldflächen wie den Schwarzwald, den Schwäbischen Wald und den Odenwald (LUBW, 2003). Rund 40% der Fläche von Baden-Württemberg sind mit Wald bedeckt, nur Hessen und Rheinland-Pfalz haben mit mehr als 40% einen höheren Waldanteil pro Landesfläche. Das Untersuchungsgebiet weist auf einer Fläche von 14 000 km² (39% der Landesfläche) 65% Nadelbäume und 35% Laubbäume auf (LUBW, 2003).

Nach der Landesanstalt für Umwelt, Messung und Naturschutz Baden-Württemberg (2005) liegt das Gebietsmittel der Jahresdurchschnittstemperatur in Baden-Württemberg bei 8.1 °C. Zwischen 1901 und 2005 ist die Jahresdurchschnittstemperatur in Baden-Württemberg um 0.8 °C gestiegen. Dieser Anstieg ist jedoch nicht zeitlich konstant. Auf einen ersten Anstieg in den ersten Jahrzehnten bis 1930 folgte eine relativ konstante Periode bis 1980. Danach setzt ein deutlicher Temperaturanstieg ein, der auch dem globalen Temperaturentrend entspricht. Die Gebietsmittel des jährlichen Niederschlags steigen seit Beginn des 20. Jahrhunderts um 12%. Seit 1990 lagen nur vier Jahre unter und 10 Jahre über dem Niederschlagsdurchschnittswert von 948mm. Die Sonnenscheindauer liegt bei ca. 1700 Stunden pro Jahr. Es konnte seit Beginn der Aufzeichnungen 1950 kein nennenswerter Trend festgestellt werden.

Aufgrund der erhöhten FSME-Fallzahlen und der äußerst interessanten inzidenzfreien Inseln wurde Baden-Württemberg als Untersuchungsregion ausgewählt.

3.5 Geographische Informationssysteme und VBI

In diesem Dissertationsvorhaben wird ArcGIS 9.3 der Firma ESRI Geoinformatik GmbH verwendet. Es umfasst eine Produktfamilie von aufeinander abgestimmten GIS-Produkten. Neben den Server-Diensten bietet ArcGIS verschiedene „Klienten“ an, die funktional abgestufte, eigenständige Anwendungen enthalten (Liebig u. Mummenthey, 2005). Für die vorliegende Arbeit waren die ArcGIS Desktop „Klienten“ ArcView, ArcEditor und ArcInfo von besonderer Bedeutung.

3.5.1 Geographische Informationssysteme

Der Begriff „geographische Informationssysteme“ ist in der Literatur vielfach definiert worden (Bill, 2010; Cromley u. McLafferty, 2011; Star u. Estes, 1989)

Drei wichtige Aspekte haben diese verschiedenen Ansätzen jedoch gemein:

- ein GIS ist ein, aus Hard- und Software bestehendes, Computersystem, das auf spezifische Erfordernisse ausgerichtete Anwendungen integriert
- ein GIS arbeitet mit raumbezogenen Daten, d. h. alle Daten sind entweder eindeutig über die Koordinaten mit der Oberfläche verknüpft, oder sie besitzen zumindest untereinander einen durch räumliche Lage definierten Bezug
- ein GIS besitzt die Möglichkeit, diese Daten zu erfassen, zu verwalten, zu analysieren und zu präsentieren. Dieses Vierkomponenten-Modell wird auch „EVAP“ genannt.

In GIS besteht die Möglichkeit, Daten aus zwei unterschiedlichen Gruppen einzugeben: Geometriedaten und Sachdaten bzw. Attribute.

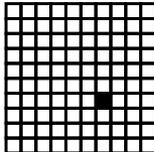
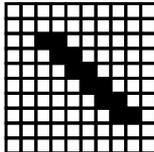
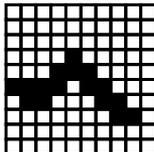
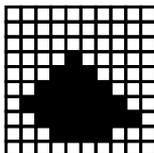
Geoobjekte, also reale Objekte, bestehen aus Geometriedaten, die in Form von Punkten (z. B. ein Erkrankungsfall), Linien (z. B. eine Straße) und Polygonen (z. B. eine Naturschutzfläche) vorliegen können (Tabelle 3.2). Sie beziehen sich immer auf verortete Punkte der Erdoberfläche, d. h. ihnen liegt ein definiertes Bezugssystem, z. B. ein Koordinatensystem zugrunde. Die Beschreibung der Objekte (z. B. Wohnsitz der erkrankten Person) erfolgt über Attributdaten (Sachdaten) in Form von Tabellen (Cromley u. McLafferty, 2011).

Die Geometriedaten werden als Raster- oder Vektordaten gespeichert (Tabelle 3.2). Rasterdaten sind Pixel-Daten, die aus Punkten mit unterschiedlichen Farb- und Grauwerten bestehen. Objekte sind durch ihre spezifischen Farbtonwerte charakterisiert, denen auch Attributdaten zugewiesen werden können. Rasterdaten können als einfache ASCII-Dateien mit Kopfinformationen über das verwendete Raster gespeichert werden.

Vektordaten bestehen aus Punkten, deren Lage jeweils durch eine x,y-Koordinate in einem rechtwinkligen Koordinatensystem oder, im Falle von Linien oder Polygonen, durch eine Verknüpfungslogik (Vektorzüge) festgelegt ist. Geometriedaten können manuell oder bereits in digitaler Form eingegeben werden (z. B. Karten, Satellitendaten oder Luftbilder) (Liebig u. Mummmenthey, 2005).

Attribute oder Sachdaten sind über einen eindeutigen Schlüssel mit dem Geoobjekt verbunden. Sachdaten für Objekte können editiert oder mittels

Tabelle 3.2: Vergleich von Vektor- und Rasterdaten im Hinblick auf die vier Strukturelemente eines GIS

Element		Vektor	Raster
Punkt	x, y		
Linie	$x_1, y_1; x_2, y_2$		
Polygonzug	x_i, y_i		
Fläche	x_i, y_i		

Datenbankprogrammen (z. B. MS Access) und Tabellenkalkulationsprogrammen (z. B. MS Excel) erstellt und in das GIS eingegeben werden. Die zu verwaltenden Daten werden in systemeigenen Datenbanken abgelegt, wobei die Sachdaten in relationalen Datenbanken, d. h. in Attributtabelle, verwaltet werden. Um die Themen in einem GIS zu strukturieren, wird das „Layer-Konzept“ angewendet (Abbildung 3.8). Das Layer-Konzept basiert auf thematisch geordneten Schichten, die übereinander angeordnet und durch einen Raumbezug miteinander verbunden sind. Mit einem GIS besteht die Möglichkeit, einzelne Ebenen anzusprechen, sie zu aktivieren bzw. zu deaktivieren, verschiedene Ebenen zu überlagern, in Beziehung zu setzen, zu analysieren und zu präsentieren (Cromley u. McLafferty, 2011).

Nach Liebig u. Mummenthey (2005) stehen für die Aktualisierung, Reorganisation und Analyse von Daten verschiedene GIS-Funktionen zur Ver-

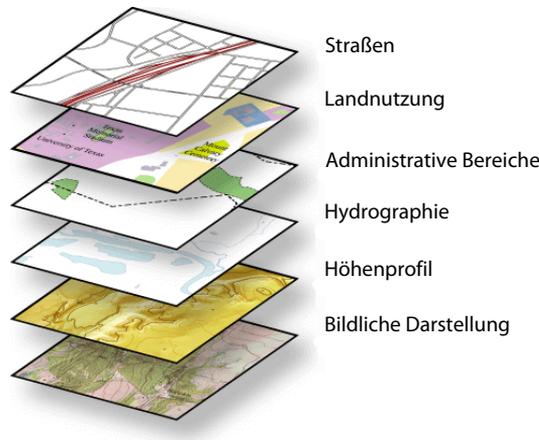


Abbildung 3.8: Layer-Konzept eines GIS (Quelle: Esri.com)

fügung. So können Datenbankabfragen, geometrische Berechnungen, Überlagerung von Kartenlayern, Verschneidungen von Geometriedaten, Erstellung von Pufferzonen, Flächen- und Dichteberechnungen, Interpolationen, Glättungstechniken, Analyse raum- und zeitbezogener Verteilungen, Modellierungen und Simulationen durchgeführt werden (Kapitel 4). Diese sehr vielschichten Möglichkeiten eines GIS können in äußerst unterschiedlichen Bereiche, wie z. B. Archäologie, Logistik, Stadtplanung, Marketing, Kriminologie und Ressourcenmanagement genutzt werden. Darüber hinaus besteht mit einem GIS die Möglichkeit einer Optimierung der Ausbreitungsüberwachung von Krankheiten und die Durchführung von Risikoabschätzungen (Cromley u. McLafferty, 2011).

Die Datenausgabe oder -präsentation erfolgt meistens in Form von Karten auf dem Computer-Bildschirm oder auf Papier. Es können auch Grafiken oder Tabellen erstellt werden. Diese Art der Präsentation ist besonders als Instrument der Öffentlichkeitsaufklärung hilfreich, je nach Zielgruppe können die Daten unterschiedlich aufbereitet und dargestellt werden (Liebig u. Mummenthey, 2005).

3.5.2 Raumbezogene Analysen von VBI

Bereits Clarke u. a. (1996) erkannten, dass zwar in den letzten 30 Jahren eine enorme Entwicklung im Bereich GIS stattgefunden hat, jedoch leider die

Anwendbarkeit vorwiegend gut geschulten Experten vorbehalten ist. Sie forderten genau wie Nykiforuk u. Flaman (2011) 15 Jahre später eine stärkere interdisziplinäre Zusammenarbeit im Bereich Public Health und Epidemiologie unter der Anwendung von GIS. Im Bereich Public Health wird GIS vor allem in den Bereichen Bestands- und Bedarfsanalyse in der Gesundheitsversorgung, dem Erstellen gesundheitsbezogener Bevölkerungsprofile, der Krankheitssurveillance (Krankheitskartierung und -modellierung) und der Risikoanalyse angewendet (Shaw, 2012).

Vor allem die Surveillance ist im Bereich von VBI von enormer Bedeutung, da, wie bereits in Kapitel 2.1.3 und Kapitel 3.3 beschrieben, VBI einem ständigen Wandel unterliegen. Sie können durch einzelne Umweltparameter in ihrer Ausbreitung beeinflusst werden (Tabachnick, 2010) (Abbildung 3.4) und kombinierte Effekte haben in einigen Fällen das Potential das Risiko zu vervielfachen. Es gilt diese sich z. T. im Wandel befindlichen Umweltparameter mittels GIS zu überwachen und gemeinsam mit den epidemiologischen Daten zu analysieren.

Eine Reihe aktueller Review-Artikel (siehe z. B. Tabelle 3.3) setzt sich mit der Thematik von Umweltveränderungen und Gesundheit bzw. Infektionskrankheiten auseinander. Je nach Methode und Wissenschaftszweig gibt es unterschiedliche Sichtweisen im Hinblick auf den Einfluss verschiedener Umweltveränderungen auf VBI. Es sollte jedoch festgehalten werden, dass die Ökologie von VBI sehr komplex ist und so von sehr vereinfachten Analysen der Ausbreitungsmechanismen abzusehen ist (Reiter, 2001). Folglich sollten möglichst viele Umweltparameter berücksichtigt werden. Beispiele für eine solch vielschichtige Analyse mit Hilfe eines GIS stellen die Studien von Glass u. a. (1995) und Khormi u. Kumar (2012) dar.

Glass u. a. (1995) haben bei der Entwicklung einer Risikogebietskarte für Lyme Borreliose über Baltimore eine Vielzahl von Umweltparametern berücksichtigt. Es konnte festgestellt werden, dass der Abstand der Bebauung zum Wald, das Gefälle der Landschaft, die Geländehöhe und der Boden als Lebensraum für verschiedene Pflanzenarten die Verbreitung der Lyme Borreliose beeinflussen. Folglich haben einzelne Umweltveränderungen Auswirkungen auf die Übertragung von VBI. Glass u. a. (1995) nehmen an, dass sich das Risiko einer Ausbreitung von Lyme Borreliose möglicherweise erhöhen könnte, wenn solche Umweltparameter kombiniert auftreten.

Auch zur Verhinderung der Ausbreitung des Dengue-Fiebers ist das Verständnis der komplexen Zusammenhänge zwischen Vektor (Gelbfiebermücke

Tabelle 3.3: Übersicht über einige aktuelle Review-Artikel, die den Einfluss von Klimaveränderungen auf VBI bestätigen

Reviews	VBI
McMichael u. Haines (1997)	FSME, Leishmaniose, Malaria
Haines u. a. (2000)	Dengue-Fieber, Malaria, Lyme Borreliose
Patz u. a. (2000)	Moskito-assoziierte Erkrankungen, Zecken-assoziierte Erkrankungen
Gubler u. a. (2001)	Moskito-assoziierte Erkrankungen, Zecken-assoziierte Erkrankungen
Reiter (2001)	Moskito-assoziierte Erkrankungen
Harvell u. a. (2002)	Rift-Valley-Fieber, Cholera
McMichael u. a. (2006)	Moskito-assoziierte Erkrankungen, Zecken-assoziierte Erkrankungen
Singh u. a. (2011)	Zoonosen
Thai u. Anders (2011)	Dengue-Fieber
Estrada-Peña u. a. (2012)	Zecken-assoziierte Erkrankungen
Githeko u. a. (2012)	Malaria
Lapointe u. a. (2012)	Malaria
Wilder-Smith u. a. (2012)	Dengue-Fieber

(*Stegomyia aegypti*) und asiatische Tigermücke (*Stegomyia albopicta*) und Umwelt eine wichtige Voraussetzung. Die Kontrolle und Überwachung des Vektors sowie die Lokalisierung und Zerstörung von geeigneten Mückenbrutplätzen spielen dabei die größte Rolle. Ziel der Studie von Khormi u. Kumar (2012) war es, durch eine Kombination von ökologischen und sozioökonomischen Variablen, Risikogebiete identifizieren zu können. Zu diesen Variablen gehörten klinisch bestätigte Dengue-Fieber Fälle, Anzahl an Mücken, Bevölkerungsdichte in bewohnten Gebieten, Gesamtbevölkerung pro Bezirk, Zugang zu Wasser, Wohnqualität und räumlich-zeitlich gemitteltes Dengue-Fieber Risiko. Khormi u. Kumar (2012) schlagen vor die angewendete Methode als Routineverfahren innerhalb einer Surveillance zu implementieren.

Beide Studien (Glass u. a., 1995; Khormi u. Kumar, 2012) zeigen, dass eine vielschichtige Analyse potentieller Ausbreitungsfaktoren notwendig ist, um das Gefährdungspotential, das von VBI ausgeht, besser abschätzen zu können. Der Schwerpunkt vieler Studien liegt jedoch, wie bei FSME, auf den

Untersuchungen der Auswirkungen von Klimaveränderungen (Tabelle 3.3). Es konnte dabei festgestellt werden, dass Klimaveränderungen einen wesentlichen Einfluss auf die Verbreitung von Infektionskrankheiten haben können. Der Grund könnte möglicherweise darin liegen, dass viele VBI, wie z. B. Malaria, Dengue-Fieber und der West-Nil-Virus tropischen Ursprungs sind. Die Klimaerwärmung, mit zunehmendem Wasserverbrauch und steigender Verdunstung, bildet vermehrt gemäßigte Klimazonen. Folglich kann die Reproduktion der Vektoren in diesen kühleren Regionen (durch die zunehmende Verdunstung) steigen (Sutherst, 2004). Klimaveränderungen haben das Potential, die Gefährdung der Bevölkerung bezüglich VBI zu ändern, indem sich die geographische Verteilung der für die Vektoren und Krankheitserreger wichtigen Gegebenheiten ändert. Es kann davon ausgegangen werden, dass Klimaveränderungen bereits 50% des weltweiten Artenspektrums beeinflusst haben (Ackermann, 2005).

Der Umweltfaktor Klima ist ein äußerst wichtiger Parameter (Kapitel 3.3.1 und Kapitel 3.2), da er, zusätzlich zu der direkten Wirkung, auch eine Reihe anderer Umweltparameter beeinflusst. Nach Gubler u. a. (2001) ist es daher besonders wichtig, die Auswirkungen dieses Faktors auf VBI zu verstehen, um eine optimale Überwachung von VBI zu ermöglichen. Darüber hinaus wird aber betont, dass ökologische, demographische und soziale Faktoren (Landnutzung, Dammbau, Bewässerung, Urbanisierung, Abholzung, Handel und Reisen sowie demographische Größen) ebenfalls das Potential haben, Infektionskrankheiten zu beeinflussen (Aron u. Patz, 2001; Gratz, 1999; Gubler u. a., 2001; Kassem u. a., 2012; McMichael, 2004; Morse, 2004; Patz, 2001; Patz u. a., 2004; Sutherst, 1993, 1998). Patz u. a. (2004) erstellten eine Liste der durch landschaftliche Veränderungen beeinflussbaren Infektionskrankheiten. VBI stellen in dieser Prioritätenliste die stärkste Gruppe dar, da sie besonders durch solche Veränderungen beeinflusst werden können.

Zur Verbesserung von Vorsorgemaßnahmen, Entwicklung von Strategien und Aufstellung von Modellen bzw. Hypothesen ist es notwendig, das Wechselspiel zwischen Erreger, Wirt, Vektor und Umweltfaktoren ganzheitlich zu verstehen. Es sollten die Einflüsse der veränderten Ökosysteme auf die Verbreitung von VBI aufgeklärt werden (Kampen, 2005; Sutherst, 1998). Es bedarf vor allem Studien, die ein umfassendes Bild der komplexen Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten der Umweltveränderungen, sowie zwischen diesen und den VBI, liefern können. Dieser Forderung nach umfassender Forschung soll in dieser Arbeit nachgekommen werden. Statisti-

sche Analysen von Umwelt- und Infektionsdaten sollen Aufschluss über das Zusammenspiel von Umweltparametern und Auftreten von FSME geben.

Darüber hinaus ist die permanente Überwachung und aktuelle Risikoabschätzung des Infektionsgeschehens notwendig (Desselberger, 2000; Kistemann u. Exner, 2000). Zum einen ist es entscheidend, neue Infektionskrankheiten inklusive ihrer Ursachen und Übertragungswege zu identifizieren. Zum anderen sollte, um die Bevölkerung besser schützen und Kosten im Gesundheitswesen einsparen zu können, eine konsequente Überwachung bekannter Erreger und Erkrankungen durchgeführt werden. Mittlerweile wird der Nutzen von GIS mehr und mehr erkannt und es werden erste Schritte unternommen, um dieses sehr vielseitige Instrument im Bereich von Frühwarnsystemen etablieren zu können (Khormi u. Kumar, 2012).

Im Bereich der Zecken-Überwachung starteten z. B. Dr. Olaf Kahl und Dr. Hans Dautel mit der tick-radar GmbH einen der ersten Versuche. Ein Internetportal Namens „Zeckenwetter.de“ informiert über die aktuelle Zeckenaktivität in Deutschland und liefert Prognosen für die nächsten Tage. Diese Informationen werden zusammengesetzt aus Zeckenstationsdaten im Freiland sowie Wetterdaten und -prognosen von ausgewiesenen Wetterexperten.

3.5.3 Entwicklung eines Surveillance-Systems mit Hilfe eines GIS

Der Begriff der medizinisch-epidemiologischen Surveillance umfasst die laufende Erhebung, Analyse und Interpretation von „Gesundheitsdaten“, um Public Health Aktivitäten planen, durchführen und evaluieren zu können, sowie Prävention und Kontrolle zu optimieren (CDC, 1988). Dagegen werden in einem Monitoringsystem nur Daten erhoben, um einen Soll-Ist-Vergleich durchführen zu können, ohne anschließende Berichterstattung und daraus resultierende Maßnahmen (Hellmeier u. Jöckel, 2005). Nur falls die Ergebnisse kritische Werte aufzeigen, erfolgt eine Berichterstattung und es werden erforderliche Maßnahmen eingeleitet.

Zur Abschätzung der räumlichen und zeitlichen Ausbreitung von Infektionskrankheiten ist neben der klassischen medizinisch-epidemiologischen Surveillance¹⁴ ein Nachweis auffälliger räumlicher Infektionsmuster sowie

¹⁴fortlaufende systematische Sammlung, Analyse, Bewertung und Verbreitung von Gesundheitsdaten zum Zweck der Planung, Durchführung und Bewertung von Maßnahmen zur Krankheitsbekämpfung

eine ökologische Analyse notwendig (van den Berg u. von der Ahé, 1997).

Zur Entwicklung eines Surveillancesystems ist die Identifizierung einer Infektionshäufung auf Basis epidemiologischer Daten erforderlich (van den Berg u. von der Ahé, 1997), die im Fall von FSME im Rahmen einer Pflicht-Surveillance¹⁵ registriert werden. Auf Grundlage einer Verbreitungskarte kann ein erster Verdacht bezüglich einer Infektionshäufung entwickelt werden.

GIS erlaubt bei der Erstellung von Choroplethenkarten¹⁶ eine flexible und problemorientierte Abgrenzung der Raumeinheiten. Dies verhindert, dass die Ergebnisse durch die Variation der Grenzen der Raumeinheit erheblich beeinflusst werden. Die Wahrnehmung des Kartenbetrachters wird durch die Projektion, Größe der räumlichen Einheit, Klassenzahl und Klassengrenzen sowie Farb- und Signaturwahl beeinflusst (Liebig u. Mummenthey, 2005).

Der Nachweis auffälliger Infektionsmuster ist ein weiterer Schritt zur Entwicklung eines Surveillancesystems (van den Berg u. von der Ahé, 1997). Bei diesem Nachweis wird vor allem ein Schwerpunkt auf die Identifikation räumlicher Cluster mit Hilfe statistischer Verfahren gelegt. Dies dient der Bestätigung einer signifikanten Abweichung von theoretisch oder empirisch erwarteten Verteilungsmustern von Krankheitsfällen. GIS beinhaltet Analysewerkzeuge, die eine Clusteranalyse automatisch durchführen können (Cromley u. McLafferty, 2011).

Der letzte Schritt zur Entwicklung eines Surveillancesystems aus dem Bereich „Umwelt und Gesundheit“ sollte sich mit der ökologischen Analyse befassen, die auf dem Prinzip der räumlichen Verknüpfung von Gesundheitsdaten und potentiellen Risikofaktoren basiert (van den Berg u. von der Ahé, 1997). Hierzu sollten gesundheitsbezogene Umweltindikatoren entwickelt werden, die es ermöglichen, den Zustand sowie die Veränderung der Umwelt im Zusammenhang mit der Ausbreitung von Krankheiten zu erfassen. Ein Indikatorenset, wie es in der vorliegenden Arbeit für FSME erstellt wurde, berücksichtigt den Umstand, dass häufig mehrere Umweltparameter wechselwirken. GIS ermöglicht die Erfassung dieses komplexen Wechselspiels zwischen Erregern, Wirten, Vektoren und Umweltfaktoren. Es ist notwendig, dieses Zusammenspiel zu verstehen, um eine Verbesserung von Vorsorgemaßnahmen, die Entwicklung von Strategien und Aufstellung von

¹⁵bestimmte Erkrankungen müssen auf Basis gesetzlicher Regelungen gemeldet werden (Reintjes u. Krämer, 2003)

¹⁶In Choroplethenkarten werden Attributwerte durch die Einfärbung der geografischen Objekte dargestellt (Liebig u. Mummenthey, 2005)

Modellen bzw. Hypothesen zu ermöglichen. Die Aufklärung des Einflusses der veränderten Ökosysteme auf die Verbreitung von VBI und insbesondere zecken-assoziiertes Krankheiten wird als sehr wichtig angesehen (Eisen u. Eisen, 2011; Kampen, 2005; Sutherst, 1998).

4 Material und Methoden

4.1 Identifizierung benötigter Datensätze anhand der Literatur

Ziel der Literaturrecherche war es zum einen einen Überblick über bereits vorhandene Studien zum Thema „VBI und Umweltveränderungen“ zu bekommen, um darauf aufbauend ein Indikatorenset für FSME zu entwickeln (Kapitel 5.1). Zum anderen fand anhand dieser Indikatoren und der gewonnenen Erkenntnisse eine Auswahl des Datenmaterials statt, welches für die statistische Auswertung die Grundlage darstellt.

Zur Identifizierung der wichtigsten Studien und Reviews zu den Themen VBI / FSME unter Einfluss von Umweltfaktoren, wurde eine umfangreiche Literaturrecherche durchgeführt. Hierbei wurde die

- Datenbank Medline/Pub Med (National Library of Medicine, Bethesda, Maryland),
- die Website-Suchfunktionen des CDC, des RKI und der WHO und
- die Suchmaschine Google inklusive der Suchmaschine Google-Scholar

herangezogen.

Gesucht wurde nach Reviews und Studien, die sich mit den Auswirkungen der Umweltveränderungen auf die Verbreitung von VBI beschäftigen. Dabei stand vor allem FSME unter Einwirkung von Umweltveränderungen im Fokus.

Die Suche umfasste einzelne Begriffe und Wortkombinationen, die in Tabelle 4.1 dargestellt sind. Berücksichtigt wurden die Begriffe im Singular und Plural sowie auf Deutsch, Englisch und Schwedisch. Es wurden jeweils Wortkombinationen verwendet wie z. B. vektorbasiert UND Infektionskrankheit UND Umweltveränderungen oder TBE AND Climate AND change oder TBE AND klimat AND förändring.

Bei der Recherche im WorldWideWeb waren u. a. die Internetseiten des RKI, des UBA, der Deutschen Gesellschaft für Parasitologie, der WHO, des CDC, der International Scientific Working group on Tick-Borne Encephalitis und des Arbeitskreises für Medizinische Geographie sehr aufschlussreich. Außerdem erfolgte eine regelmäßige Recherche in unterschiedlichsten

Tabelle 4.1: Suchmatrix der verwendeten Begriffe der Literaturrecherche zu verschiedenen Themen

Thema	Zecken	VBI	FSME	GIS	Umweltfaktoren
Suchbegriff	<i>Ixodes ricinus</i>	Vektor-assoziierte Erkrankung	Frühsommer-Meningo-enzephalitis	geographische Informationssysteme	Umwelt
	Arachnida	Vektorbasierte Infektionskrankheiten	Hirnhaut-entzündung	Geo-informationssystem	Urbanisierung
	Acari	Arbovirus	Meningitis	Überwachung	Klima
	Ixodida	Zoonosen	Flaviviridae		Tourismus
	Metastigmata		Ausbreitung		Landnutzung
	Holzbock		Monitoring		Biodiversität

wissenschaftlichen Journalen, um den Verlauf der aktuellen Forschung im Bereich VBI verfolgen zu können. Es wurden Zeitschriften aus den unterschiedlichsten Fachrichtungen z.B. Medizin, Geoinformatik, Epidemiologie, Gesundheitswissenschaften sowie Umwelt und Gesundheit herangezogen.

Zur Optimierung der Fragestellung, ob es Korrelationen zwischen den Umweltfaktoren und der Vektor- bzw. Infektionsausbreitung bei VBI gibt, war die Eingrenzung der Untersuchungsparameter erforderlich. Es erfolgte eine Spezifizierung des Vektors und der zu untersuchenden VBI, eine Eingrenzung der zu untersuchenden Umweltfaktoren sowie eine räumliche und zeitliche Begrenzung (siehe Kapitel 5.1).

4.2 Materialsammlung und -aufarbeitung

Um die Lesbarkeit der Arbeit zu verbessern, werden im Folgenden sowohl die gesammelten Daten als auch deren Aufarbeitung zur anschließenden Auswertung dargestellt.

4.2.1 Verarbeitung der geobasierten Daten

Nach der in Kapitel 4.1 beschriebenen Literaturrecherche konnte eine Vielzahl von wichtigen Informationen identifiziert werden, die für die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* verantwortlich sein könnten. Diese Informationen galt es nun in Form von Daten zusammenzutragen (Kapitel 4.2.2 und Kapitel 4.2.3) und je nach Zustand des Datenmaterials zu bearbeiten. Abhän-

gig von ihrem Ursprungsformat und Informationsgehalt mussten die Daten umgewandelt und/oder bereinigt werden, um sie in die Analysen integrieren zu können. Dabei wurden die Programme ArcMAP der Firma ESRI und Microsoft Office Excel angewendet.

Alle Daten mussten den gleichen räumlichen Bezug aufweisen. Dazu wurde je nach Datenbeschaffenheit eine Anpassung des projizierten Koordinatensystems durchgeführt. Falls noch keine Projektion vorlag, erfolgte im Fall von Vektordaten direkt eine Verknüpfung mittels des Verbindungstools mit dem Landkreisgrenzen-Shape von Baden-Württemberg via Kreis-Nummer. Im Fall von Rasterdaten musste erst über das Zonal-Statistics-Tool dem Layer eine Struktur in Form der Landkreisgrenzen gegeben werden. Bei der Verknüpfung von Datensets wird der Vorteil genutzt, dass alle Datensätze die Information über den Kreis (Kreisnummer oder Kreisname) enthalten und das Landkreisgrenzen-Shape bereits ein projiziertes Koordinatensystem (DHDN 3 Degree Gauss Zone 3) sowie die Gauss-Krüger-Projektion beinhaltet und bei der Verknüpfung mit einem anderen Datenset diese Information überträgt.

Zum anderen war es für die statistische Auswertung notwendig, dass pro Kreis nur ein Wert je Parameter vorlag. Dazu wurde die Spatial-Analyst-Toolbox verwendet. Hier besteht die Möglichkeit mit dem Zonal-Tool Werte für einen definierten Bereich zu berechnen.

4.2.2 Epidemiologische Daten und Datenquellen

Seit Januar 2001 besteht eine Meldepflicht für FSME gemäß §7 Abs. 1 IfSG (IfSG, 2000). Alle Erregernachweise werden von Laboratorien und Ärzten sowie von den Gesundheitsämtern gesammelt und beim RKI in einer umfassenden und jahresaktuellen Karte „FSME-Risikogebiete in Deutschland“ zusammengeführt. Dabei werden die Meldedaten beim RKI in diskontinuierlicher Form als Punktdaten gesammelt, aus denen das kontinuierliche räumliche Muster abgeschätzt werden kann (RKI, 2005b). Zu Beginn des Projektes war noch ein persönlicher Kontakt zum RKI notwendig, um an die Meldedaten von FSME zu gelangen. Seit dem Jahr 2008 besteht die Möglichkeit die Daten von meldepflichtigen Krankheiten über das Datenportal SurvStat@RKI auf der RKI-Internetseite abzurufen.

Nach § 11 Abs. 1 IfSG müssen folgende Daten übermittelt werden:

- Geschlecht
- Geburtsdatum

- zuständiges Gesundheitsamt
- Tag der Erkrankung oder Tag der Diagnose, gegebenenfalls Tag des Todes und wenn möglich Zeitpunkt oder Zeitraum der Infektion
- Art der Diagnose
- wahrscheinlicher Infektionsweg, wahrscheinliches Infektionsrisiko, Zugehörigkeit zu einer Erkrankungshäufung
- Land, soweit die Infektion wahrscheinlich im Ausland erworben wurde
- Aufnahme in ein Krankenhaus

Gemeldet werden direkte oder indirekte Nachweise des FSME-Virus, soweit sie auf eine akute Infektion hinweisen. Es gibt verschiedene Falldefinitionen für FSME, die davon abhängen, ob ein klinischer (d. h. symptomatischer) oder ein labordiagnostischer Nachweis der Erkrankung vorliegt.

Zwischen 2001 und 2003 war nach dem IfSG eine gültige Falldefinition des RKI erfüllt, wenn labordiagnostisch nur ein serologischer FSME-spezifischer Nachweis von Antikörpern der IgM¹ vorlag. Da Experten diese Falldefinition als nicht ausreichend spezifisch einstufen, wurde ab 2004 zusätzlich ein erhöhter IgG²-Titer oder ein signifikanter Titeranstieg als Nachweis eingeführt und eine neue FSME-Falldefinition geschaffen. Ab 2004 wurden somit Erkrankungen mit alleinigem serologischen IgM-Antikörper-Nachweis sowie IgM-Antikörper-Nachweises im Liquor aus der Surveillance ausgeschlossen. Seit 2007 wird mit der aktuellsten Falldefinition der Nachweis eines simultanen IgM- und IgG-Nachweises im Liquor wie im Serum als Laborbestätigung betrachtet (RKI, 2012).

Folglich basieren die verwendeten Fallzahlen also auf FSME-Infektionen mit symptomatischen Krankheitsverläufen. Daneben kann von einer hohen Dunkelziffer von nicht gemeldeten FSME-Infektionen ausgegangen werden, denn meist verläuft die Infektion asymptomatisch und wird nicht registriert.

Eine weitere Einschränkung der verwendeten FSME-Infektionen betrifft die Information über den Infektionsort. Diese, für das Vorhaben wichtige Information, ist nicht meldepflichtig und muss bei der namentlichen Meldung nach §9 Abs.1 nicht in allen Fällen aufgenommen werden. Auch eine Weiterleitung dieser Information an das Gesundheitsamt oder an die zuständige Landesbehörde ist nicht vorgesehen. Es besteht Konsens mit den Gesundheitsbehörden der Bundesländer, dass die Information zum Infektionsort

¹Immunglobulin-Klasse M

²Immunglobulin-Klasse G

im Rahmen der Einschätzung des Infektionsrisikos nach § 11 Abs. 1 Nr. 6 IfSG („wahrscheinlicher Infektionsweg, wahrscheinliches Infektionsrisiko...“) jedoch übermittelt werden sollte. Die Übermittlung des Infektionsortes war in den Jahren 2001 und 2002 noch sehr lückenhaft, hat sich aber in den letzten Jahren deutlich verbessert: In den Jahren 2002, 2003, 2004 und 2005 fehlte der Infektionsort jeweils bei 49,4 %, 20,2 %, 4,4 %, und 15,3 % der Fälle. In den Jahren 2006 bis 2008 fehlte er noch bei 1,6 %, 2,1 % und 4,5 %. Es ist zu beachten, dass ohne einen Hinweis zum vermutlichen Infektionsort ein übermittelter FSME-Fall auch nicht zur Präzisierung der FSME-Risikogebiete genutzt werden kann (RKI, 2005b). Für eine örtliche Risikoeinschätzung ist die Kenntnis der Infektionsorte notwendig, so dass ausschließlich die 651 gemeldeten FSME-Fälle mit Informationen über den Infektionsort verwendet werden.

Die gelieferte Datentabelle sieht wie folgt aus:

Fall-ID	Melde-jahr	Melde-woche	Infektionskreis		Anzahl Inf.	Inf.-land	Geschl.	Zeckenstich	Erkrankungsbeginn	
			Name	ID					Von	Bis
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
1066	2006	36	LK Calw	8235	1		2	20	06-07-15	06-07-31
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

Sie enthält also für jeden der 651 Fälle eine Identitätsnummer, das Meldejahr, die Meldewoche, den Infektionsort (Land- oder Stadtkreis), den intervallzen-sierten Zeitpunkt des Erkrankungsbeginns sowie das Geschlecht des Patienten (1=männlich, 2=weiblich). Außerdem liegt das Merkmal Zeckenstich vor, für das folgende Werte möglich sind:

Code	Bedeutung	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
0	keine Angabe	88	13.5%
10	kein Zeckenbiss	110	16.9%
20	Zeckenbiss	453	69.6%

Diese Information beruht auf Patientenangaben, d. h. „kein Zeckenstich“ bedeutet, dass keine Zecke bemerkt wurde. Neben einer Infektion durch einen Zeckenstich kommt z. B. virusinfizierte Rohmilch in Frage. Allerdings gibt es bundesweit jährlich nur etwa drei Fälle, die auf diese Ursache zurückzuführen sind, sodass die Angaben mit dem Wert 10 wohl auf einen unbemerkten Zeckenstich zurückzuführen sind. Somit ist diese Variable nicht als belastbare

Quelle für die Ursache der FSME-Infektion anzusehen. In den weiteren Analysen wird dies deshalb auch nicht weiter untersucht und davon ausgegangen, dass Zecken für die Infektionen verantwortlich sind.

Als weiteres Merkmal enthält die Tabelle die Variable „Anzahl Infektionen“, die für die meisten Patienten den Wert 1 hat. Allerdings ist in elf Zeilen der Wert 2 und in drei Zeilen der Wert 3 eingetragen. Bei diesen Fällen ist der Ansteckungskreis gemäß Patientenangabe nicht eindeutig spezifizierbar und die zugehörigen Fallnummern tauchen dementsprechend auch zwei- bzw. dreimal im Datensatz auf, jeweils mit einem unterschiedlichen Kreis. Einmal liegt der alternative Kreis auch außerhalb von Baden-Württemberg, im bayerischen Landkreis Freyung Grafenau.

Die FSME-Meldedaten wurden in Form einer Excel-Tabelle geliefert und konnten nach Bereinigung (z. B. Rechtschreibkorrektur, Umgestaltung und Hinzufügen von Spalten) für alle weiteren Auswertungsschritte entsprechend angepasst und umgewandelt werden. So war es möglich, einige spezifische Abfragen mittels Microsoft Access zu gestalten, wie z. B. die Summe aller FSME-Fälle zwischen 2002 und 2006 sortiert nach Landkreisen oder die Summe der FSME-Fälle sortiert nach Landkreisen und Jahren. Die so neu erzeugten Informationen wurden in eine dBASE-Datei umgewandelt. Anschließend erfolgte mittels des Verknüpfungstools in ArcView eine Verbindung mit dem Raumbezug gebenden Feature „Kreise 2005“ um die FSME-Daten in ArcView darstellen zu können (siehe Abbildung 5.2 und Abbildung 5.1).

4.2.3 Ökologische Daten und Datenquellen

Zur Bestimmung des Risikos an FSME zu erkranken, werden neben den epidemiologischen Daten auch Daten über mögliche Einflussfaktoren benötigt. So wurde, nach der in Kapitel 4.1 beschriebenen Literaturrecherche, ein Datenpool erstellt, der neben den FSME-Fallzahlen eine Vielzahl ökologischer Daten enthält.

Zunächst wurde evaluiert, welche ökologischen Parameter für eine Bestimmung der Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* geeignet sind. Hierzu wurde, wie in Kapitel 4.1 bereits beschrieben, Literatur gesichtet, die sich mit dem Einfluss unterschiedlicher Parameter auf die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* beschäftigt. Dabei war es zunächst unerheblich, ob diese Artikel die Zusammenhänge belegen oder lediglich über mögliche Einflüsse spekulieren. Nach der Erstellung eines Indikatorensets (Tabelle 5.1) anhand

der gesichteten Literatur, wurde versucht die gewünschten Daten zu beschaffen. Da es keine zentrale Datenbank gibt, die alle räumlichen Daten mit ökologischem Bezug verwaltet, wurde hierzu eine Google-Suche mit den entsprechenden Schlagworten durchgeführt:

- Baden-Württemberg
- Geo-Daten
- Fernerkundung
- Kartographie
- Geodäsie
- Vermessung
- Geographische Informationssysteme
- Vermessung

Darüber hinaus wurden entsprechend der spezifischen ökologischen Daten noch Suchbegriffe wie Klima, Vegetation, Wald, Wildtiere etc. verwendet.

Daten über die Gegebenheiten in Deutschland können über eine Vielzahl von Schnittstellen (z. B. statistisches Bundesamt, ATKIS³, zentraler Geodaten-service der deutschen Landesvermessung, Umweltportal Deutschland) bezogen werden. In diesem Vorhaben spielen dabei vor allem der DWD⁴ und das DLR⁵ eine Rolle. Das Land Baden-Württemberg hat ein Umweltinformationssystem (UIS BW⁶) aufgebaut, in dem die gesamte Verarbeitung von Umweltinformationen unter der Regie des UM⁷ über die Ressortbereiche hinweg koordiniert wird. Ein Bestandteil des UIS BW stellt der Umweltdatenkatalog (UDK) dar, der Auskunft darüber gibt, „wer“ „wo“ über „welche“ Umweltdaten verfügt. Diese Daten können einerseits als Sachinformation in Text- oder Tabellenform oder als Geodaten (Vektordaten) in Form von Shapefiles⁸ vorliegen. Der UDK⁹ verschafft einen Überblick über die im UIS BW vorhandenen Umweltdaten. Bei einer Verfügbarkeit der Daten über das Internet können diese über den dynamischen Internet-Dienst „Umwelt-Datenbanken und -Karten online“ abgerufen werden. Die Sachdatenbanken und digitalen Kartenbestände stammen aus Mess- und Erhebungsprogrammen der LUBW¹⁰ sowie dem IuK¹¹-Verbund Land / Kom-

³Amtliches Topographisch-Kartographisches Informationssystem

⁴Deutscher Wetterdienst

⁵Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

⁶Umweltinformationssystem des Landes Baden-Württemberg

⁷Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg

⁸ein Vektordatenformat der Firma ESRI

⁹Umweltdatenkatalog Baden-Württemberg

¹⁰Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg

¹¹Forschungsverbund für Informations- und Kommunikationstechnik

mune. Einen kurzen Überblick über den zugrunde liegenden Datenpool gibt Tabelle 4.2, eine ausführliche Beschreibung liefern die folgenden Abschnitte.

Tabelle 4.2: Zugrundeliegender Datenpool für die Analysen

Daten	Quelle	Typ	Kurzbeschreibung
FSME-Fälle	RKI	Excel-Tabelle	ID, Meldejahr und -woche, Kreis, Geschlecht, Zeckenstich, Erkrankungsbeginn
Gemeindegrenzen	BBR ¹²	Vektordaten	Gemeindegrenzen von BadenWürttemberg
Amtliche Daten	StaLa BW ¹³	Excel-Tabelle	Fläche, Einwohnerzahl und -dichte (Stand: 31.12.2007)
Klima/Wetter	DWD	Rasterdaten	Temperatur, Niederschlag, Sonnenscheindauer, Trockenheitsindex
Bodenübersicht	RP-Freiburg ¹⁴	Vektordaten	Bodengroßlandschaften (erstellt nach morphologisch-petrographischen Gegebenheiten)
Wuchsgebiete	FVA BW ¹⁵	Vektordaten	Naturraumgliederung, insbesondere Klimahaupttyp und Höhenstufe
Landnutzung	DLR	Coverage-Format	Satellitenbilder des EU-weiten CORINE-Projekts: Siedlungsfläche, Seen, Ackerland, Straßen, Bewaldung, ...
Bodenvegetation	FVA BW	Internet-Abfrage	Baumarten- bzw. Pflanzenverteilung
Übernachtungszahlen	StaLa BW	Internet-Abfrage	Anzahl der Beherbergungen im Reiseverkehr pro Jahr
Wildtiere	LAZBW ¹⁶	Excel-Tabelle	Jagdstrecken der Wildtiere: Rehwild, Rotfuchs und Feldhase

4.2.3.1 Klimadaten

Die verwendeten bundesweiten Klimadaten wurden freundlicherweise vom Deutschen Wetterdienst zur Verfügung gestellt. Diese Daten enthalten Monatsmittelwerte über die Sonnenscheindauer, die Niederschlagsmenge, die Temperatur und den Trockenheitsindex der Jahre 2000 bis 2007. Sie liegen

¹²Bundesamt für Raumordnung und Bauwesen

¹³Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

¹⁴Regierungspräsidium Freiburg

¹⁵Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt Baden-Württemberg

¹⁶Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei

als Rasterdaten vor und werden im ASCII¹⁷-Dateiformat gespeichert. Ein Datensatz umfasst dabei einen 1 km breiten West-Ost-Streifen, wobei jeder Einzelwert eine vierstellige ganze Zahl ist (1/10 °C, 1 mm etc.). Sie liegen in einem 1x1 km Raster vor, das auf der Basis von Punktdaten interpoliert wurde. Für die Auswertung war es erforderlich, die Klimadaten zu mitteln und einen Wert für jeden Landkreis zu erzeugen. Dabei wurden, mit dem Conversion-Tool in ArcView, die ASCII-Dateien der Klimadaten in ein Grid (Rasterdaten) umgewandelt. Anschließend konnte mit den Spatial-Analyst-Tools die neue Information über die Mittelwerte der entsprechenden Daten erzeugt werden. Diese Informationen konnten für die statistischen Auswertungsschritte (Kapitel 4.3.2 und Kapitel 4.3.3) genutzt werden.

Im folgenden werden die Definitionen der einzelnen Klimaparameter gemäß dem DWD aufgeführt:

Temperaturmittel Das Temperaturmittel ergibt sich aus dem täglichen Temperaturverlauf der Luft mit einer Zeitspanne pro Mittelung von 0 bis 24 Uhr. Aus allen Tagesmitteln werden die Monats- und Jahresmittel errechnet. In den gelieferten Daten wurde die Tagesmitteltemperatur in $\frac{1}{10}$ °C dargestellt, jedoch wurde für die Darstellung der Karten und für die Auswertung 1 °C als Einheit gewählt (Abbildung 4.1). Zum einen wurde für die Auswertung die Jahresmitteltemperatur ermittelt, zum anderen wurden jahreszeitliche Temperaturmittel errechnet. Hierbei wurde das Jahr unterteilt in Frühling (März - Mai), Sommer (Juni - August), Herbst (September - November) und Winter (Dezember - Februar) sowie jeweils über die Jahre 2001 bis 2005 gemittelt und somit ein Vorjahresmittel erzeugt (Abbildung 4.2).

¹⁷American Standard Code for Information Interchange

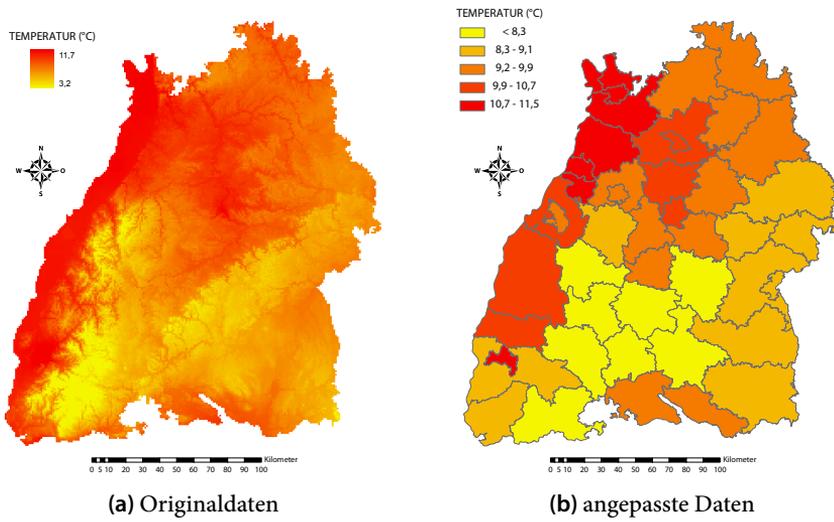


Abbildung 4.1: Beispielkarten zur Darstellung des Temperaturmittels (°C) pro Landkreis in Baden-Württemberg

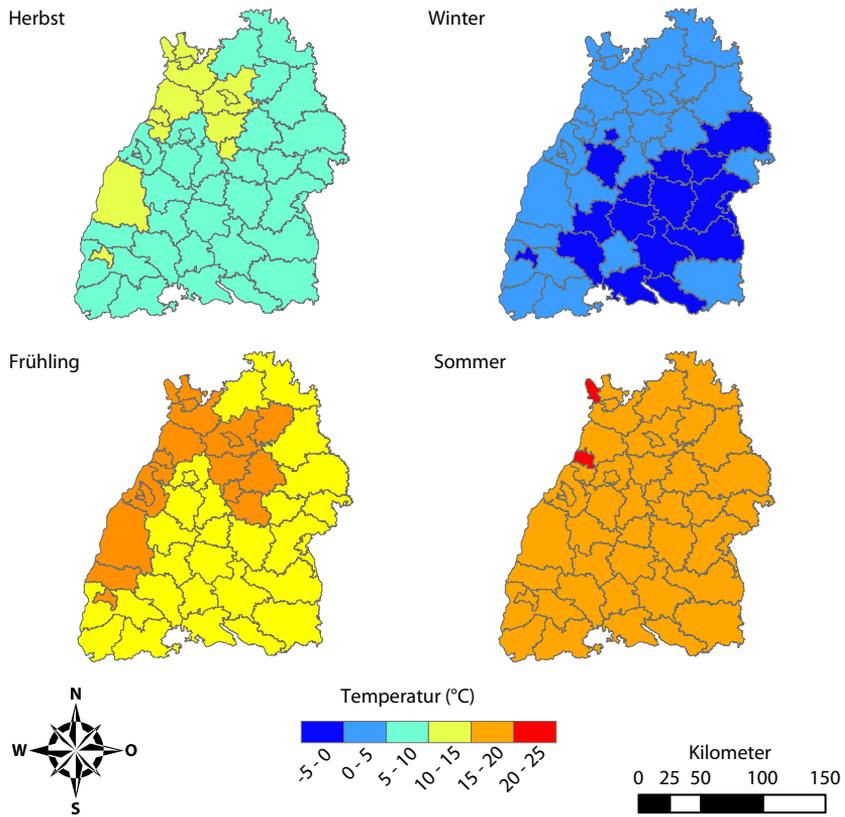


Abbildung 4.2: Jahreszeitliche Mittelung der Temperatur (°C) über die Jahre 2001 bis 2005

Niederschlag Die Niederschlagsmenge wird definiert als eine bestimmte Menge flüssigen Wassers (Niederschlagswasser), die sich bei Niederschlag (Regen, Schnee, Hagel, Nebel usw.) in einer definierten Zeitspanne in einem geschlossenen Becken gesammelt hat. Sie bezieht sich auf einen Quadratmeter (l/m^2) und ist dann gleich der Niederschlagshöhe in mm. Faktoren wie Verdunstung, Bodenversickerung oder Abfluss werden bei der Messung nicht berücksichtigt. Abbildung 4.3 stellt die Niederschlagsmenge eines Jahres pro Landkreis dar und ist ein Beispiel für die gelieferten Niederschlagsdaten (Abbildung 4.3a) und die bearbeiteten Daten je Landkreis (Abbildung 4.3b).

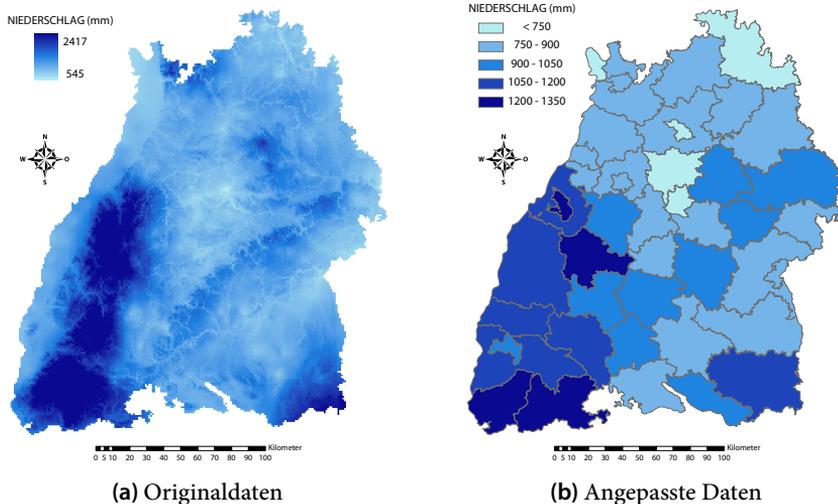


Abbildung 4.3: Beispielkarten zur Darstellung der Niederschlagsmenge (mm) in Baden-Württemberg

Sonnenscheindauer Als Sonnenscheindauer bezeichnet man die tatsächliche Dauer der direkten Sonnenstrahlung an einem bestimmten Ort innerhalb eines definierten Zeitraums (Tag, Woche, Monat, Jahreszeit, Jahr). Die Sonnenscheindauer wird allgemein täglich gemessen und in den gelieferten Karten (Abbildung 4.4a) in Zehntel-Stunden angegeben. Die täglich festgestellte Sonnenscheindauer wird dann für größere Zeiträume aufsummiert. Abbildung 4.4b stellt die zur Auswertung angepassten Daten dar und zeigt

die Anzahl der jährlichen Sonnenstunden für Baden-Württemberg.

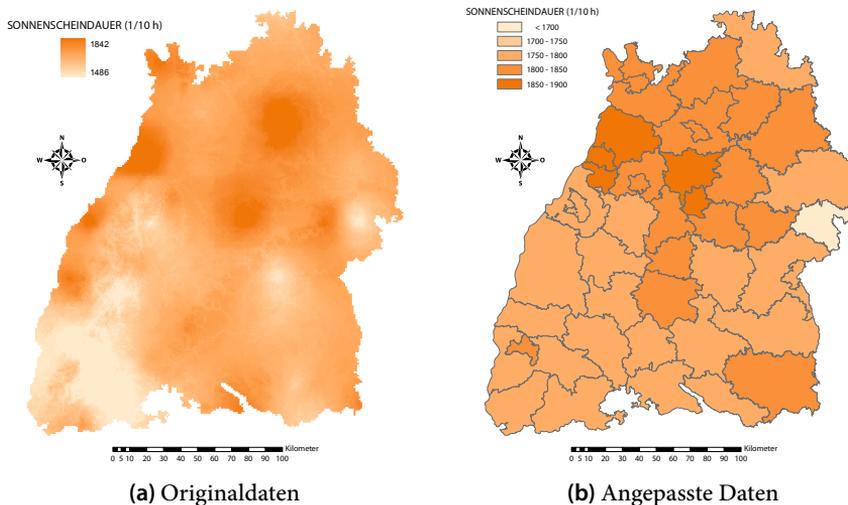


Abbildung 4.4: Beispielkarten zur Darstellung der Sonnenscheindauer (1/10 h) pro Landkreis in Baden-Württemberg

Trockenheitsindex Der Trockenheitsindex ist eine Maßzahl, welche Niederschlag und Temperatur ins Verhältnis setzt. Es ist umso trockener, desto weniger Niederschlag gefallen ist. Zudem verdunstet bei höherer Temperatur mehr Feuchtigkeit, so dass es bei gleichviel gefallenem Niederschlag bei einer höheren Temperatur trockener ist als bei einer niedrigeren Temperatur. Der Trockenheitsindex nach de Martonne ist definiert als die Monatssumme des Niederschlags geteilt durch die Monatsmitteltemperatur plus 10:

$$i = \frac{n}{T + 10} \quad (4.1)$$

wobei n : der Niederschlag des Bezugszeitraums in mm und T : die Mitteltemperatur des Bezugszeitraums in °C ist.

Abbildung 4.5 stellt den Trockenheitsindex für den Raum Baden-Württemberg dar.

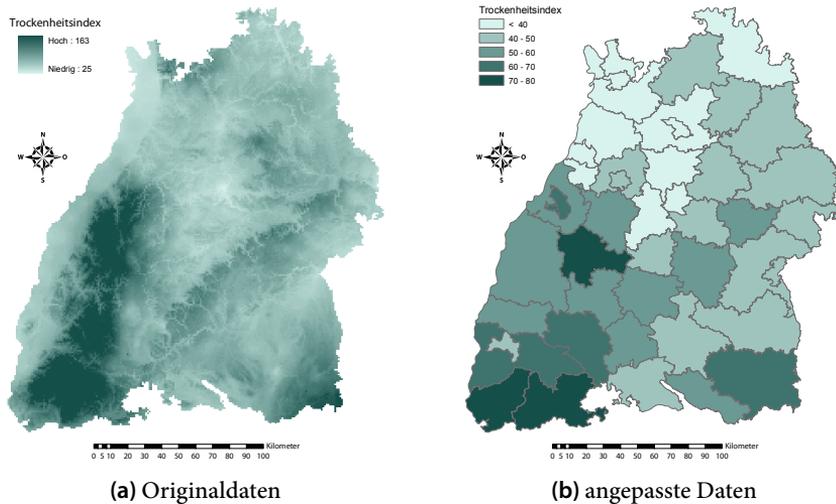


Abbildung 4.5: Beispielkarten zur Darstellung des Trockenheitsindex pro Landkreis in Baden-Württemberg

4.2.3.2 CORINE Land Cover Daten

Das europaweite Projekt CLC¹⁸ hat die Bereitstellung von einheitlichen und damit vergleichbaren Daten der Bodenbedeckung für Europa zum Ziel. Es ist Teil des Programms CORINE¹⁹ der Europäischen Union. Die Kartierung der Bodenbedeckung und Landnutzung wurde europaweit auf der Basis von Satellitendaten im Maßstab 1:100.000 durchgeführt. Die Ersterfassung (CLC1990) erfolgte einheitlich nach 44 Landnutzungsklassen, von denen 37 Klassen in Deutschland und 28 in Baden-Württemberg relevant sind. Der komplette Datensatz für Deutschland enthält einen Pufferbereich von ca. 500m. Der Gesamtdatensatz ist aus 215 Kartierungseinheiten aufgebaut, basierend auf dem Blattschnitt der topographischen Kartenblätter TK1000. Bereitgestellt werden die Datensätze in drei geodätischen Bezugssystemen, wobei in dieser Arbeit die Projektion-Gauß-Krüger Zone 3 angewendet wurde.

Im Rahmen von CLC2000 erfolgte die Aktualisierung des Datenbestandes

¹⁸CORINE Land Cover

¹⁹Coordination of Information on the Environment

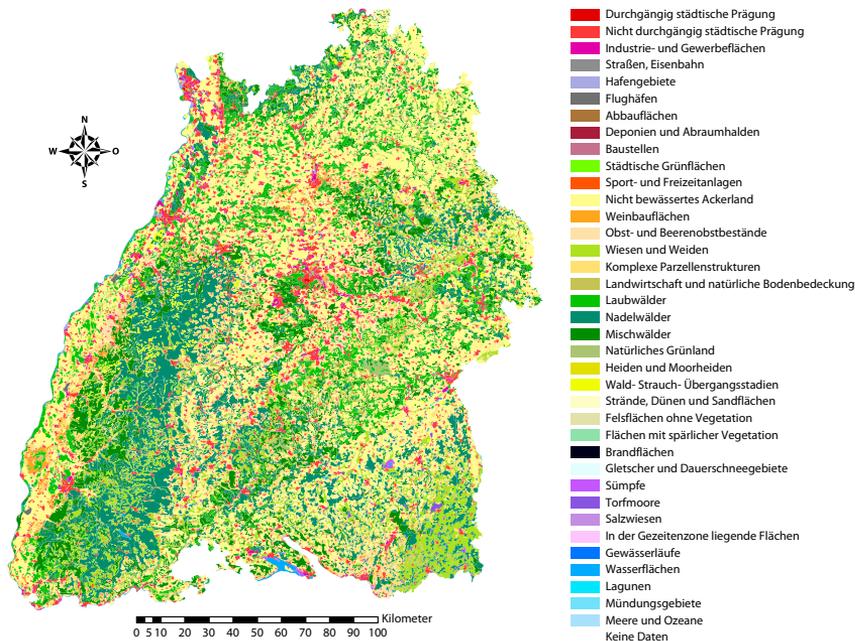


Abbildung 4.6: CLC2000 Daten im Originalzustand

zum Bezugsjahr 2000 und die Kartierung der Veränderungen gegenüber der Ersterfassung. Das Projekt CLC2000 und damit die flächendeckende Kartierung von Deutschland wurden im Auftrag des UBA vom Deutschen Fernerkundungsdatenzentrum des DLR geleitet. Freundlicherweise hat das DLR diese Daten im Coverage-Format für das Untersuchungsgebiet Baden-Württemberg zur Verfügung gestellt.

Zur weiteren Auswertung wurden die Daten einer Formatanpassung unterzogen, um sie als Shapefile mit den Kreisinformationen zu verknüpfen (Kapitel 4.2.1). Abbildung 4.6 zeigt die räumliche Verteilung der unterschiedlichen Kategorien der Landnutzungen in Baden-Württemberg.

In einem weiteren Schritt wurden die Informationen für die statistischen Auswertungen eingegrenzt, zusammengefasst und gemittelt. Dabei wurden die Informationen Kraut- und Strauch-Vegetation (Natürliche Grünflächen, Heide und Moorheiden und Wald-Strauch Übergangsstadien), Mischwald, Nadelwald und Laubwald extrahiert und in neuen Karten dargestellt Abbildung 4.7.

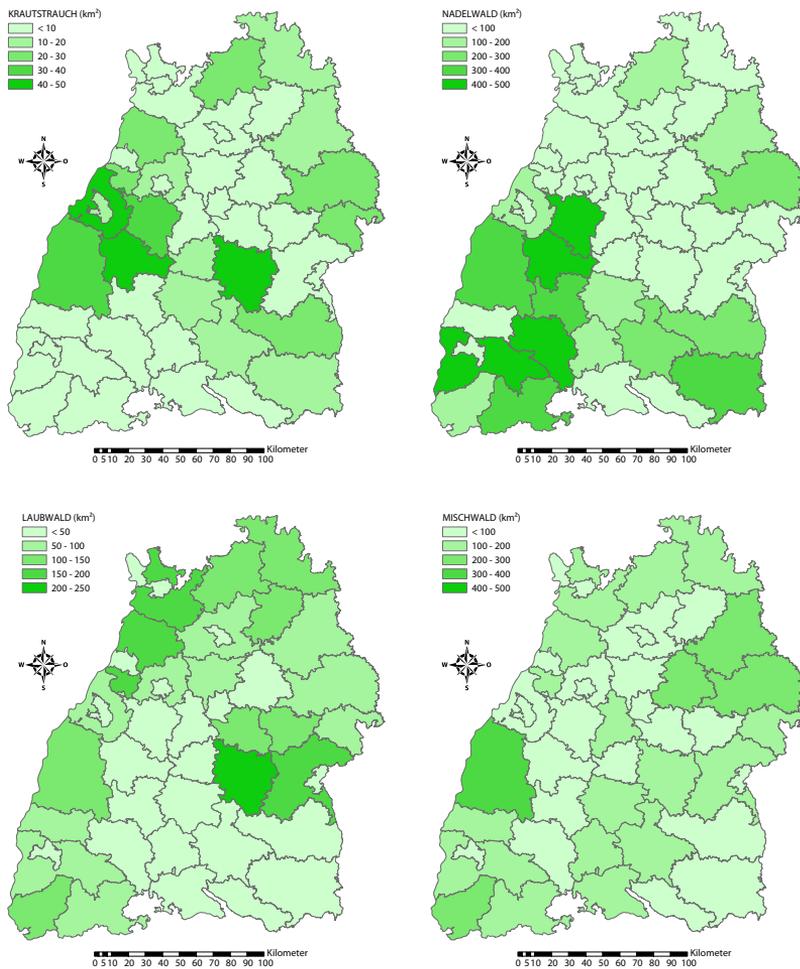


Abbildung 4.7: Vegetation in den Landkreisen nach CLC2000

4.2.3.3 Wuchsgebiete / Waldgesellschaften

Anhand geologischer und klimatischer Merkmale wird der Wald Baden-Württembergs in sieben Naturräume (Odenwald, Oberrheinisches Tiefland, Neckarland, Schwarzwald, Baar-Wutach, Schwäbische Alb, Südwestdeutsches Alpenvorland), sogenannte Wuchsgebiete, eingeteilt. Wuchsgebiete

sind Großlandschaften, die in Landschaftsform und Gesteinscharakter gewisse einheitliche Züge aufweisen und aufgrund dieser Merkmale von anderen Großlandschaften abgrenzbar sind.

Informationen zu diesen Wuchsgebieten wurden in Form eines Shapefile von der FVA BW bereitgestellt. Die Daten enthalten auch andere, etwas detailliertere Einteilungen Baden-Württembergs anhand des sogenannten Klimahaupttyps. Dieses Merkmal besitzt 19 Kategorien, die in Tabelle 4.3 beschrieben sind (die Kategoriennummern 11 und 20 sind nicht im Datensatz enthalten). Für den Klimahaupttyp gibt es auch eine gröbere Kategorisierung in fünf Höhenstufen und die separate Kategorie „Auenwälder“, die keiner Höhenstufe zugeordnet werden kann. Im Folgenden wird diese vergrößerte Kategorisierung als „Höhenstufe“ bezeichnet. Für die weitere Auswertung wurden mit Hilfe von ArcView und der Funktion „Geometrieberechnung“ die Flächenanteile der jeweiligen Höhenstufe in dem entsprechenden Landkreis errechnet (Abbildung 4.8).

Tabelle 4.3: Kodierung der 19 Klimahaupttypen

Höhenstufe	Code	Klimahaupttyp
planar	1	planarer Eichen-Mischwald und Flurauenwald
	2	planarer Eichen-Buchen-Wald und Flurauenwald
kollin	3	kolliner Buchenwald, z. T. mit Eiche
	4	kolliner Buchen-Eichen-Wald
submontan	5	submontaner Buchen-Eichen-Wald
	6	submontaner Buchen-Eichen-Tannen-Wald
	7	submontaner Buchen-Eichen-Wald mit Tanne
	8	submontaner Buchenwald, z. T. mit Eiche
	9	submontaner Buchenwald, z. T. mit Eiche, (örtlich) mit Tanne
	10	submontaner Buchen-Tannen-Wald mit Eiche
paenemontan	12	submontaner Tannen-Buchen-Fichten-Wald mit Kiefer
	13	paenemontaner Buchen-Tannen-Wald
montan	14	montaner Buchen-Tannen-Wald, z. T. örtlich mit Fichte
	15	montaner Buchen-Tannen-Wald mit Kiefer
	16	montaner Tannen-Buchen-Wald, (örtlich) mit Fichte
	17	montaner Buchenwald, z. T. mit Eiche
	18	montaner Buchenwald, z. T. mit Eiche, (örtlich) mit Tanne
	19	montaner Tannen-Fichten-Kiefern-Wald mit Buche
Auenwälder	21	Auenwälder, auennahe Mischwälder und Riedwälder

4.2 Materialsammlung und -aufarbeitung

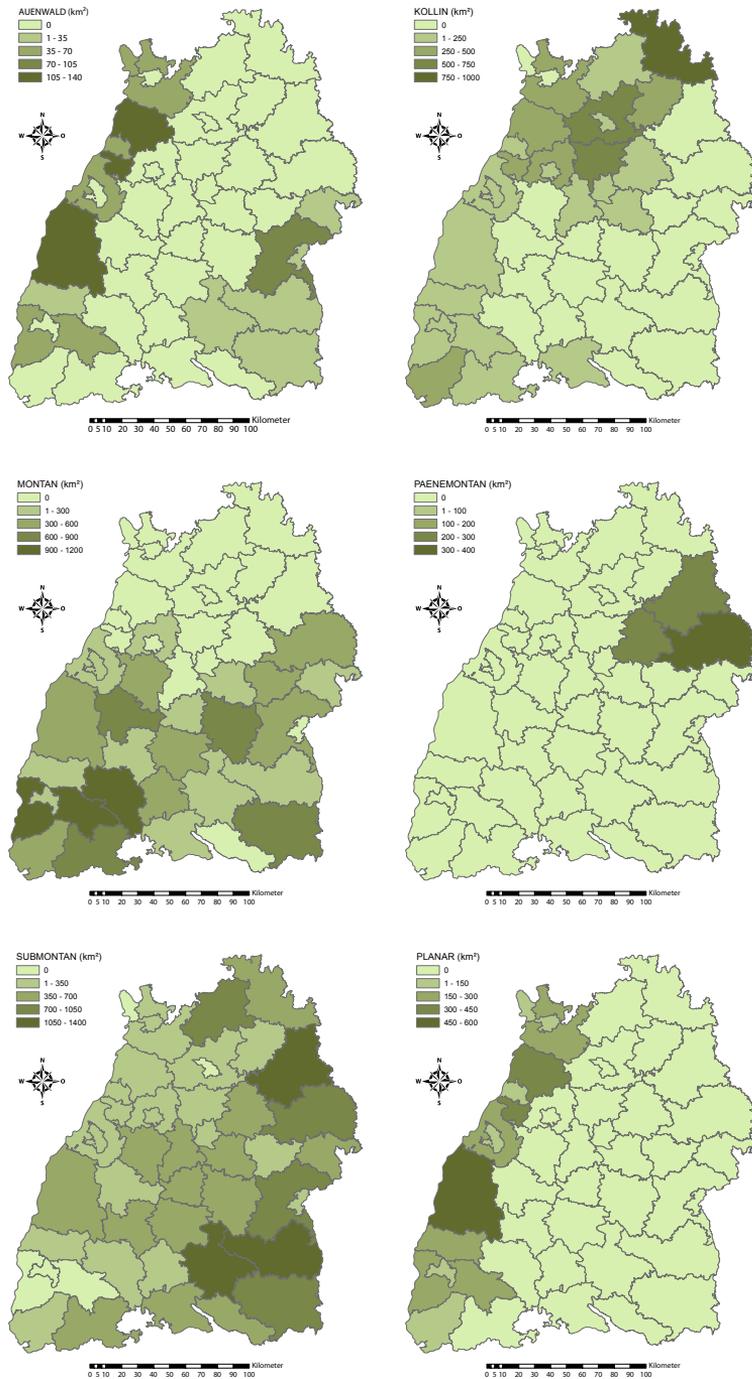


Abbildung 4.8: Höhenstufenanteile (km²) in Baden-Württemberg pro Landkreis

4.2.3.4 Amtliche Kreisdaten

Vom StaLa BW konnten Informationen über die Einwohnerzahlen (Abbildung 4.9a), die Kreisfläche (Abbildung 4.9b) und die Einwohnerdichte pro Landkreis eingeholt werden.

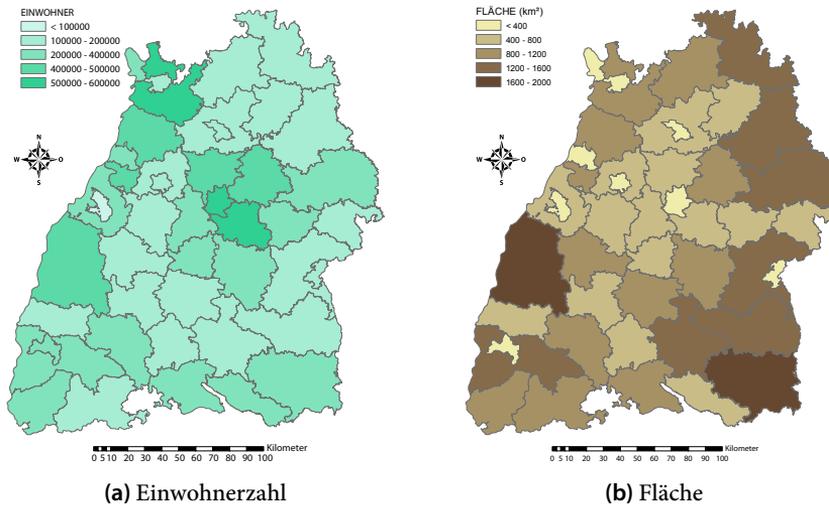


Abbildung 4.9: Regionaldaten der Landkreise in Baden-Württemberg

Zur Bevölkerung zählen alle Personen, die in dem betreffenden Gebiet ihren ständigen Wohnsitz haben. Personen, die einen 2. Wohnsitz haben, werden der Bevölkerung der Gemeinde zugerechnet, in der sich die Hauptwohnung im Sinne des § 17 Absatz 2 Meldegesetz (Fassung vom 23. Februar 1996) befindet. Nicht zur Bevölkerung zählen die Angehörigen der ausländischen Stationierungstreitkräfte sowie der ausländischen diplomatischen und konsularischen Vertretungen mit ihren Familienangehörigen. Vor dem 27. April 1983 wurden Personen mit Wohnraum in mehreren Gemeinden der Gemeinde zugeordnet, von der aus sie zur Arbeit oder Ausbildung gingen. Soweit sie weder berufstätig waren noch in Ausbildung standen, war die Wohnung oder Unterkunft maßgebend, in der sie sich überwiegend aufhielten. Mit Wirkung vom 27. April 1983 werden bei der Fortschreibung des Bevölkerungsstandes aufgrund von An- und Abmeldungen diejenigen Personen, die mehrere Wohnungen innehaben, der Bevölkerung der Gemeinde zugerech-

net, in der sich ihre Hauptwohnung im Sinne des neuen Landesmeldegesetzes befindet.

Alle Daten wurden über eine Internetabfrage abgerufen und lagen in Tabellenform vor. Eine Anpassung der Daten an ein GIS-kompatibles Format erfolgte durch eine Verknüpfung des Datensatzes mit einem Shape-File, der Informationen über die Kreisgrenzen Baden-Württembergs enthält (Kapitel 4.2.1).

4.2.3.5 Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg

Der WaBoA²⁰ ist ein umfangreiches Atlaswerk mit flächendeckenden thematischen Übersichtskarten aus den Fachbereichen Hydrologie, Wasserwirtschaft und Bodenkunde in gedruckter (1:350.000) und digitaler (1:200.000) Form. Es werden der Zustand und die langfristige Entwicklung der Ressourcen Wasser und Boden im Land Baden -Württemberg behandelt. Der Atlas bildet ein Grundlageninstrument für Entscheidungsprozesse in öffentlicher Verwaltung, Wirtschaft, Wissenschaft und Ausbildung und wurde von der LUBW zur Verfügung gestellt.

Tabelle 4.4: Einstufung der Bodenkundlichen Feuchtestufen nicht-hydromorpher Böden in Abhängigkeit von nutzbarer Feldkapazität der Böden bis 1 m unter Flur und Klimabereich (Leibundgut u. Abraham, 2001)

Klimabereich	nFK (mm)				
	< 50	50-90	90-140	140-200	200-600
0-1	(äußerst bis) sehr trocken	trocken bis mäßig trocken	mäßig trocken bis mäßig frisch	mäßig frisch	mäßig frisch bis frisch
2	(sehr trocken bis) trocken	mäßig trocken	mäßig frisch	mäßig frisch	mäßig frisch bis frisch
3	(sehr trocken bis) trocken	mäßig trocken	mäßig frisch	mäßig frisch	frisch
4	trocken bis mäßig trocken	mäßig trocken bis mäßig frisch	mäßig frisch bis frisch	mäßig frisch bis frisch	frisch
5-6	mäßig trocken	mäßig trocken bis mäßig frisch	frisch	frisch	frisch
7-9	mäßig trocken	mäßig frisch	frisch	frisch	frisch
10	mäßig frisch	mäßig frisch bis frisch	frisch	(frisch)	(frisch)

Der Atlas ist in acht Kapitel aufgeteilt: Grundlagen, Hydrometeorologie, Oberirdische Gewässer, Boden und Bodenwasser, Grundwasser, Wasserhaus-

²⁰Wasser- und Bodenatlas Baden-Württemberg

Tabelle 4.5: Vereinfachte Ableitung der Bodenkundlichen Feuchtestufe für grundwasserbeeinflusste Böden (Leibundgut u. Abraham, 2001)

Bodentyp	Bodenkundliche Feuchtestufe
nicht oder nur schwach entwässerte Moore und Anmoore	sehr feucht bis nass
Nassogleye, Anmoorgleye, Moorgleye	
mäßig entwässerte Moore	feucht
Gleye, Hanggleye	
mittel entwässerte Moore	mäßig feucht
Gleye	
Vega-Gleye, Braunerde-Gleye	
stark entwässerte Moore	frisch
Gley-Vegen, Vegen	
Paternien, Kalkpaternien	

halt, Wasserwirtschaft und Gewässerökologie. Für das Forschungsprojekt wichtige Daten, die bodenkundlichen Feuchtestufen, werden im vierten Kapitel „Boden und Bodenwasser“ dargestellt.

Die Bodenkundlichen Feuchtestufen dienen als Grundlage zur Beschreibung von Wuchsbedingungen hinsichtlich des Wasserhaushaltes für die natürliche bzw. naturnahe Vegetation sowie für land- und forstwirtschaftliche Kulturpflanzen. Die Ermittlung der Bodenkundlichen Feuchtestufen wurde auf Basis der Arbeiten von Hauffe und Augenstein durchgeführt. Die zur Bewertung notwendigen Parameter stammen aus der WaBoA-Karte 4.2 „Bodenkundliche Einheiten“ und der Karte 4.6 „Nutzbare Feldkapazität der Böden“.

Die Karte gibt einen Überblick über die Verteilung der bodenkundlichen Feuchtestufen in Landschaften und Teilräumen Baden-Württembergs (Abbildung 4.10). Sie enthält 19 verschiedene Einheiten mit unterschiedlicher Spannweite der bodenkundlichen Feuchtestufen. Acht Einheiten kennzeichnen den Bereich zwischen „sehr trocken“ und „frisch“. Bei vier Legendeneinheiten kommen zusätzliche bzw. ausschließliche Stufen zwischen „mäßig feucht“ und „nass“ sowie bei sieben Stufen mit „mäßig wechselfrisch“ bis „wechselfeucht“ hinzu. Diese Bezeichnungen sind den Tabellen 4.4, 4.5 und 4.6 zu

Tabelle 4.6: Vereinfachte Ableitung der Bodenkundlichen Feuchtestufe für Böden mit Stauwassereinfluss (Leibundgut u. Abraham, 2001)

Bodentyp	Bodenkundliche Feuchtestufe
nicht entwässerte Stagnogleye und Subtypen	sehr feucht bis nass
mittel entwässerte Stagnogleye	wechselfeucht
nicht entwässerte Pseudogleye	
stark entwässerte Stagnogleye	mäßig wechselfeucht
mittel entwässerte Pseudogleye	
stark entwässerte Pseudogleye	wechselfrisch
Übergänge zwischen Pseudogleyen und nicht hydromorphen Böden	

entnehmen.

Diese Einteilung ist jedoch für eine Auswertung nicht geeignet. Eine Zusammenfassung der Einheiten bzw. eine Zuordnung zu einem nFK²¹-Wert war nicht möglich, da die Einheiten zum Teil eine zu große Anzahl unterschiedlicher Feuchtestufen in Abhängigkeit vom Klimabereich umfassen (Tabelle 4.4).

Es gibt jedoch eine generalisierte Version des WaBoA, die Bodenübersichtskarte (1:350000). Diese Karte zeigt eine vereinfachte Darstellung der Verbreitung der Böden in Baden-Württemberg. Die bodenkundlichen Einheiten stellen die Basis für mehrere Boden-Kennwertkarten dar, die als Attributfelder im Datensatz verankert sind. Dazu gehören die Themen Bodenart und Gründigkeit, Bodenwasserregime, Feldkapazität der Böden, nutzbare Feldkapazität der Böden, potenzielle Kationenaustauschkapazität der Böden und die Schwermetallgehalte der Böden. So konnte aus dieser generalisierten Karte die Information über die nFK gewonnen werden. Diese Information über das verfügbare Bodenwasser wurde in Form eines Shape-Files geliefert (Abbildung 4.11). Um jedoch auswertungsfähige Angaben zum nFK-Wert pro Landkreis zu gewinnen, wurden die nFK-Klassen über die Kreisflächen gemittelt. Daraus ergaben sich die gemittelten nFK-Werte, die in Abbildung 4.11b dargestellt sind.

²¹Nutzbare Feldkapazität

4 Material und Methoden

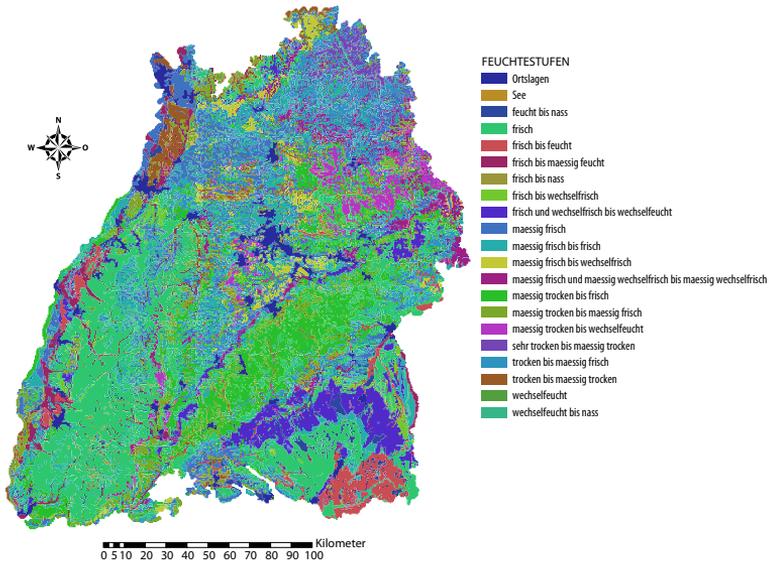


Abbildung 4.10: Feuchtestufen pro Landkreis in Baden-Württemberg aus dem WaBoA

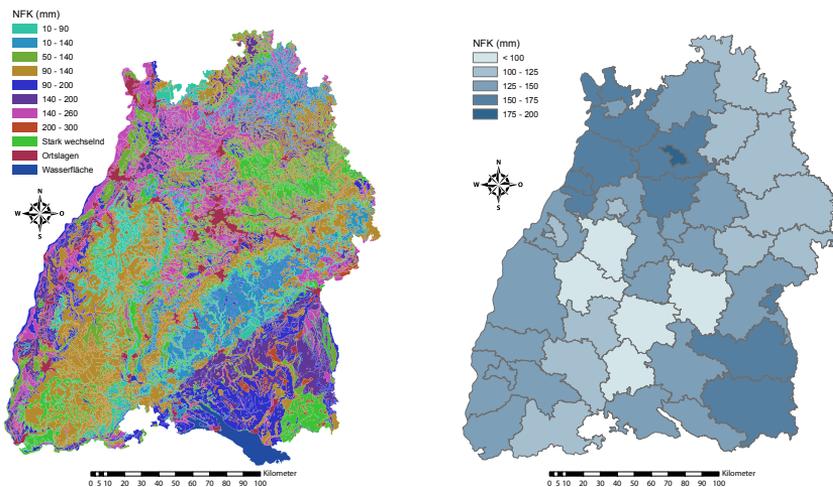


Abbildung 4.11: Bodenkundliche Werte aus der Bodenübersichtskarte (1:350000)

4.2.3.6 Tourismus/Übernachtungszahlen

Nach dem Gesetz über die Statistik der Beherbergung im Reiseverkehr vom 14. Juli 1980 sind ab 1981 in allen Gemeinden Beherbergungsstätten mit mehr als acht Gästebetten zu erfassen. Die zu erfassenden Beherbergungsstätten umfassen auch Unterkunftsstätten, die die Gästebeherbergung nicht gewerblich und/oder nur als Nebenzweck betreiben sowie, seit 2004, Campingplätze. Unter der zur statistischen Auswertung verwendeten Rubrik „Beherbergung im Reiseverkehr“ werden alle Personen registriert, die vorübergehend an einem anderen Ort als ihrem gewöhnlichen Wohnsitz untergebracht sind (Reisende). Ein Aufenthalt gilt, in Anlehnung an die melderechtlichen Vorschriften, dann als „vorübergehend“, wenn er die Dauer von zwei Monaten im Allgemeinen nicht überschreitet. Der vorübergehende Ortswechsel kann durch Urlaub und Freizeit, aber auch durch die Wahrnehmung privater und geschäftlicher Kontakte, den Besuch von Tagungen und Fortbildungsveranstaltungen, Maßnahmen zur Wiederherstellung der Gesundheit oder sonstige Gründe veranlasst sein.

Der als Quotient aus Übernachtungen pro Ankünfte errechnete Wert gibt die durchschnittliche Aufenthaltsdauer der Gäste im Beherbergungsbetrieb an und kann rechnerisch, z. B. in Orten mit Sanatorien und Kurkrankenhäusern, höher sein als die Zahl der Kalendertage des Berichtszeitraums.

Die Daten können über eine Abfragemaske auf der Seite des statistischen Landesamtes Baden-Württemberg abgerufen werden. Um eine Darstellung der Übernachtungszahlen in ArcView zu ermöglichen wurden die reinen Übernachtungszahlen per Landkreis mit dem Shape, der die Informationen zu den Landkreisgrenzen enthält, verknüpft. Das Resultat war eine Karte in der jeder Landkreis eine gemittelte Übernachtungszahl über die Jahre 2002 bis 2006 enthält (Abbildung 4.12).

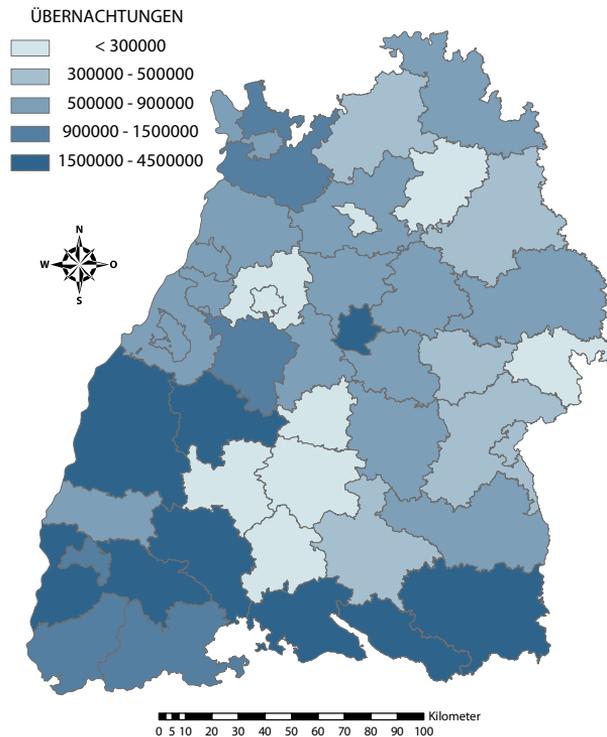


Abbildung 4.12: Übernachtungszahlen in Baden-Württemberg pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006

4.2.3.7 Wildtier-Daten

Die WFS BW²² gibt jährlich eine Statistik über die Jagdstrecken aus. In Baden-Württemberg umfassen die Streckenangaben die Anzahl der erlegten und aufgefundenen, verendeten Tiere, sowie die Verkehrsverluste durch Straßenverkehr und Eisenbahn. Seit der Gründung der WFS BW 1987 werden die Jagdstrecken nach den Meldung der Kreisjagdämter und der Forstdirektionen zusammengestellt. Seit 1996 ist diese Aufgabe auch in der Durchführungsverordnung zum Landesjagdgesetz gesetzlich fixiert. Die Jagdstatistiken werden nicht nur für wildbiologische Zwecke verwendet, sondern auch in Belangen

²²Wildforschungsstelle des Ministeriums für ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg

des Natur- und Artenschutzes sowie für verschiedene GIS-Anwendungen (z. B. Rote Liste, Standort von Grünbrücken, landschaftsökologische GIS-Modelle) benötigt.

Die freundlicherweise von der WFS BW zur Verfügung gestellten Daten wurden in einer Excel-Tabelle geliefert, die Jagdstreckenangaben zu Fuchs, Rehwild und Feldhase pro Jahr und Landkreis enthält. Zur Anpassung der Daten an ein kompatibles Format bedurfte es der Verknüpfung der Tabelle mit einem Shape-File, der die Rauminformation über die Kreisgrenzen enthält (Kapitel 4.2.1). Hierbei entstand je Wildtier eine Karte, die die Jagdstrecke als Durchschnitt für die Jahre 2002 bis 2006 pro Landkreis darstellt (Abbildung 4.13). Diese, in Form von Shape-File, neu zusammengestellten Informationen können nun zur weiteren Auswertung in ArcView verwendet werden.

4 Material und Methoden

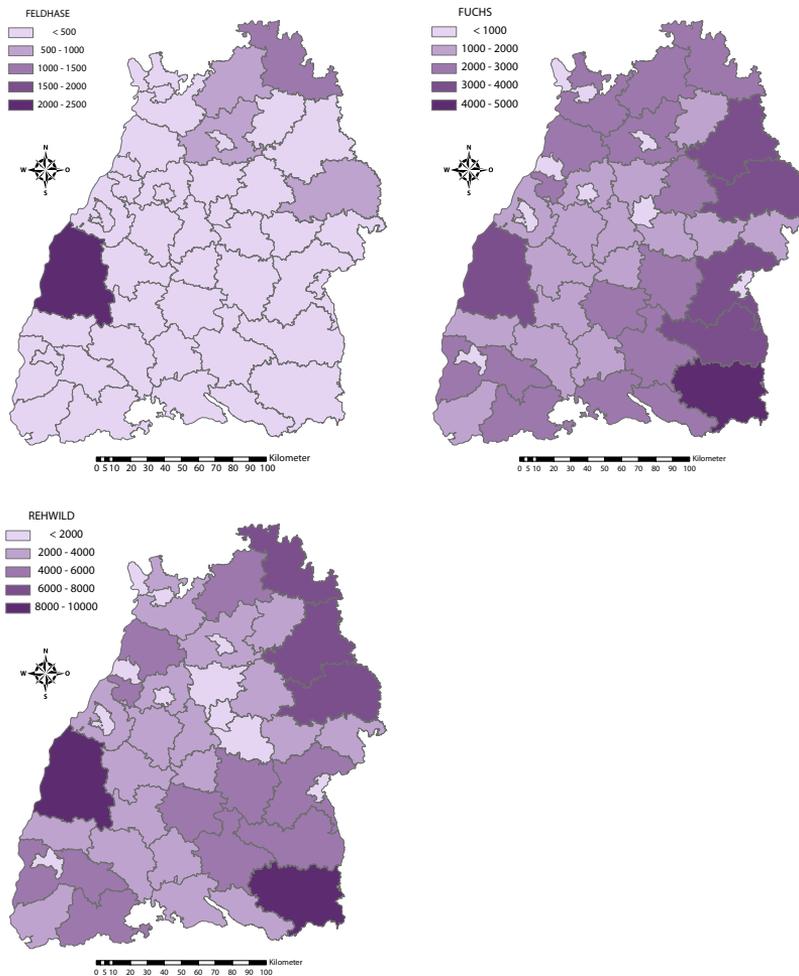


Abbildung 4.13: Jagdstreckenanteile einiger Wildtiere in Baden-Württemberg pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006

4.3 Auswertungsmethoden

Ziel der in dieser Arbeit durchgeführten Analysen ist die Identifizierung von Umweltfaktoren, die das Auftreten von FSME beeinflussen. Eine solche Abhängigkeit einer erklärten Variablen (in diesem Fall des Auftretens von FSME) von einer oder mehreren anderen, erklärenden Variablen (den Um-

weltfaktoren) kann mit Hilfe von Regressionsmodellen aufgeklärt werden. Diese Regressionsmodelle können auch verwendet werden, um Werte für die erklärte Variable basierend auf der/den erklärenden Variablen zu prognostizieren.

Eine Vielzahl von unterschiedlichen Regressionsmodellen stehen zur Verfügung, die je nach Datenlage ausgewählt werden können. Die statistische Analyse der vorliegenden Daten umfasste zum einen eine Untersuchung auf Basis eines generalisierten geoadditiven Poisson-Regressionsmodells und zum anderen eine Auswertung mittels geographisch gewichteter Regression.

4.3.1 Regressionsanalysen

Können die Eigenschaften einer erklärten (oder auch abhängigen, oder Ziel-) Variablen in Abhängigkeit von den erklärenden Variablen (Kovariablen) nicht exakt durch einen funktionalen Zusammenhang, beschrieben werden, sondern ergeben sie sich vielmehr durch Überlagerung mit zufälligen Störungen, lässt sich die Zielvariable als eine Zufallsvariable, deren Verteilung von den Kovariablen abhängt, auffassen. Eine Regressionsanalyse kann dann genutzt werden, um den Einfluss der Kovariablen auf den Mittelwert der Zielvariable zu untersuchen. Die Zielvariable y lässt sich dann in Abhängigkeit von den Kovariablen x_j , $j = 1, \dots, k$ schreiben als:

$$y = f(x_1, \dots, x_k) + \epsilon \quad (4.2)$$

wobei ϵ die zufällige, nicht von den Kovariablen erklärte Störung und f den funktionalen Zusammenhang beschreibt (Fahrmeir u. a., 2007).

Das einfache lineare Regressionsmodell:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \epsilon \quad (4.3)$$

ergibt sich daraus als Spezialfall, bei dem der Funktionalzusammenhang f zu der einzigen Kovariable x als linear angenommen wird $f(x) = \beta_0 + \beta_1 x$. Darin beschreibt β_0 die Regressionskonstante oder auch das Interzept und stellt den theoretischen (systematischen) Wert von y bei $x = 0$ dar, also den Y-Achsenabschnitt der Regressionsgerade. Der Regressionskoeffizient β_1 beschreibt die Reaktion der Variable y auf Änderungen der Variable x und ist somit die Steigung der Geraden. Eine große Steigung bedeutet, dass selbst eine kleine Änderung von x zu einer relativ großen Änderung in y

führt, während bei einer kleinen Steigung eine relativ große Änderung von x notwendig ist, um eine nennenswerte Änderung in y zu erreichen (Fahrmeir u. a., 2007).

Betrachtet man Datensätze mit n Beobachtungen:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_i + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad (4.4)$$

so sollten die Störungen ϵ_i normalverteilt um Null sein, da dann auch für die Zielvariablen eine Normalverteilung angenommen werden kann (Fahrmeir u. a., 2007).

In vielen Fällen, wie auch in der vorliegenden Untersuchung, sind die vorliegenden Zusammenhänge komplexer und lassen sich mit der linearen Abhängigkeit zweier Variablen nur unzureichend beschreiben. Die multiple lineare Regression trägt diesem Umstand Rechnung und beschreibt die Abhängigkeit der Zielvariablen y von k additiven Kovariablen x_j , $j = 1, \dots, k$:

$$y = \beta_0 + \sum_{j=1}^k \beta_j x_j + \epsilon \quad (4.5)$$

wobei β_j , $j = 1, \dots, k$, die Koeffizienten der Kovariablen sind. Diese Regressionskoeffizienten stellen die Steigung in Richtung der jeweiligen X-Achsen dar. Die Störung ϵ gilt es bei der Schätzung der Regressionskoeffizienten mit einzubeziehen, da in der Praxis nie ein perfekter linearer Zusammenhang zwischen den Variablen besteht (Fahrmeir u. a., 2007).

Um die Regressionsgerade abzuschätzen, stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Ein weitverbreitetes Verfahren, um die unbekanntenen Regressionskoeffizienten β_j , $j = 1, \dots, k$, solcher linearer Modelle zu schätzen, stellt die OLS dar. Dieser Ansatz versucht die bestmögliche Vorhersage mit einem möglichst geringen Vorhersagefehler zu treffen, also möglichst die Residuen zu minimieren. Bildlich gesehen wird also eine Ausgleichsgerade durch die Datenwolke gelegt, die einen möglichst geringen Abstand zu den effektiven Werten aufweist (Abbildung 4.14). Um dabei große Abweichungen stärker zu bestrafen als kleinere Abweichungen, wird die Summe der quadrierten Residuen betrachtet (Fahrmeir u. a., 2007).

Die Fähigkeit eines Regressionsmodells die beobachteten Werte y_i zu replizieren, wird durch die Anpassungsgüte bestimmt. Diese ist am R^2 -Wert, $0 \leq R^2 \leq 1$, abzulesen, der den durch das Modell erklärten Anteil einer abhängigen Variablen y darstellt. Durch Hinzunahme von weiteren Variablen kann

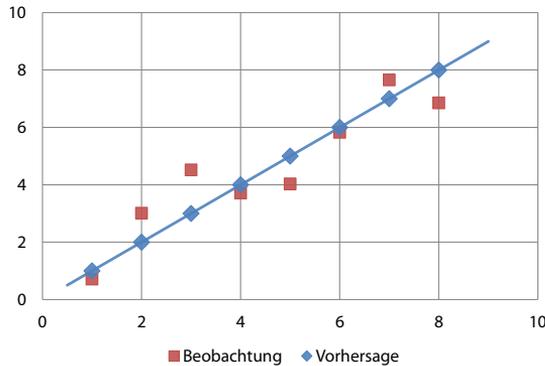


Abbildung 4.14: Lineare Regression, wobei sich ein geschätzter, linearer Verlauf aus den beobachteten Werten ergibt

sich der R^2 -Wert vergrößern, so dass oft der bereinigte R^2 -Wert verwendet wird, der die Anzahl der unabhängigen Variablen im Modell berücksichtigt (Fahrmeir u. a., 2007).

Aus Gleichung (4.5) ergibt sich für n Beobachtungen und die lineare Abhängigkeit $g(x_j, \beta_j)$ von den Kovariablen:

$$\epsilon_i = y_i - g(x_{ij}, \beta_j), \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 0, \dots, k, \quad x_{i0} \equiv 1 \quad (4.6)$$

und damit das Minimierungsproblem:

$$\min_{\beta} \sum_{i=1}^n \epsilon_i^2 = \min_{\beta} \sum_{i=1}^n (y_i - g(x_{ij}, \beta_j))^2, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 0, \dots, k \quad (4.7)$$

welches analytisch gelöst werden kann (vergl. Fahrmeir u. a. (2007)). Dabei ist y der beobachtete Wert und $\hat{y} = g(x_j, \beta_j)$ der mit den geschätzten Regressionskoeffizienten β_j berechnete Wert. Je kleiner die Differenz zwischen y und \hat{y} desto kleiner ist das Quadrat der Abweichung ϵ , d. h. desto besser repräsentiert die Ausgleichsgerade die Datenwolke (Fahrmeir u. a., 2007).

Um eine präzise Schätzung durchführen zu können, müssen verschiedene Annahmen berücksichtigt werden. Zum einen muss das Modell linear bezüglich der Parameter sein, eine zufällige Stichprobe aus der Grundgesamtheit betrachten und der Umfang n der Daten muss mindestens so groß sein wie die Zahl k der unbekannt Parameter. Zum anderen sollten die Residuen

normalverteilt sein und einen Mittelwert von Null aufweisen. Darüber hinaus wird den verschiedenen Kovariablen perfekte Multikollinearität untersagt, d. h. sie dürfen nicht in exakter linearer Abhängigkeit zu anderen Kovariablen stehen. Es darf sich also keine Variable x_j , $j = 0, \dots, k$, als Linearkombination der restlichen Variablen x_l , $l \neq j$, darstellen lassen. Unter diesen Bedingungen wird der OLS-Schätzer als unverzerrt und erwartungstreu, das heißt der Erwartungswert des Schätzers ist gleich dem wahren Wert des Parameters, bezeichnet (Fahrmeir u. a., 2007).

Für den Fall, dass die Zielvariablen keiner Normalverteilung unterliegen, können unterschiedliche Verteilungen angenommen werden. Zum Beispiel werden Zähldaten durch eine Poisson-Verteilung recht gut beschrieben. In diesem Fall wird die Poisson-Regression verwendet, bei der eine Exponentialfunktion sicherstellt, dass sich nur positive Werte für das relative Risiko ergeben (Fahrmeir u. a., 2007).

Die Abhängigkeit $f(x_j)$ der Zielvariable y von den Kovariablen x_j , $j = 1, \dots, k$ wird in solchen linearen Regressionsmodellen (Gleichung (4.2)) als linear angenommen. Um eine solche Einschränkung zunächst zu vermeiden, kann der Einfluss der Kovariablen auch flexibel modelliert werden. Diese flexible Regression basiert auf sogenannten Polynom-Splines²³, also stückweise definierten Polynomen, die an den Intervallgrenzen (Knoten) stetig und differenzierbar aneinandergesetzt werden. Die Bestimmung solcher flexibel modellierter Abhängigkeiten von mehreren Kovariablen wird als additive Regression bezeichnet (Fahrmeir u. a., 2007).

Liegen neben den Kovariablen x_1, \dots, x_k noch Beobachtungen zum geografischen Ort s vor, wobei s z. B. Landkreise oder Regionen bezeichnet, kann das additive Modell um einen räumlichen Effekt $f_{\text{geo}}(s)$ ergänzt werden:

$$y_i = \sum_{j=0}^k f(x_{ij}) + f_{\text{geo}}(s_i) + \epsilon_i \quad (4.8)$$

In solchen geoadditiven Modellen basiert die Modellierung von f_{geo} oft auf sogenannten Markov-Zufallsfeldern. Bei diesen liegt die Wechselbeziehung zwischen zwei Orten nur auf ihrer Nachbarschaftsbeziehung, d. h. wenn sie keine gemeinsame Grenze besitzen, haben sie auch keine direkte Wechselwirkung (Fahrmeir u. a., 2007).

²³auch P-Spline oder Polynomzug

Eine weitere Möglichkeit, ein lineares Modell (Gleichung (4.5)) um einen räumlichen Effekt zu ergänzen, bietet die GWR. Unter der räumlich gewichteten Regression versteht man ein Regressionsmodell, das ebenso aufgestellt ist wie das einer multiplen linearen Regression, nur das hierbei noch eine räumliche Begrenzung in das Modell eingearbeitet wird, mit der eine gewisse Gewichtung auf einzelne Bereiche erfolgt. Dabei werden nicht globale sondern lokale Parameter geschätzt:

$$y_i = \sum_{j=1}^k \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \epsilon_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad x_{i0} \equiv 1 \quad (4.9)$$

wobei $\beta_j(u, v)$ eine kontinuierliche Oberfläche im Raum mit Messungen an den Orten i mit den Koordinaten (u_i, v_i) bezeichnet (Fotheringham u. a., 2002). Dies ermöglicht die Beurteilung der räumliche Heterogenität der geschätzten Beziehungen zwischen den Kovariablen und der Zielvariable.

Um die Koeffizienten $\beta_j(u, v)$ der GWR zu schätzen, wird, im Unterschied zu der OLS, eine Gewichtung verwendet. Dabei sind die Gewichte so gewählt, dass die Beobachtungen nahe an Punkt i im Raum, an dem die Koeffizienten geschätzt werden sollen, mehr Einfluss auf das Ergebnis haben als Beobachtungen in größerer Entfernung. Dieser Zusammenhang wird als Kernel bezeichnet. Häufig wird ein Gauß-Kernel verwendet dessen Breite vielfach während der Optimierung an die Daten angepasst wird. Dies wird als adaptive Bandbreite bezeichnet (Fotheringham u. a., 2002).

4.3.2 Statistische Auswertung der Daten im Rahmen einer geoadditiven Poisson-Regression

Nach einer deskriptiven Analyse der Datenlage wurden zur Modellierung geoadditive Poisson-Regressionsmodelle und zur Schätzung Bayesianische Inferenzkonzepte verwendet. Zur Reduktion der Modellkomplexität wurde anhand des DIC²⁴ eine Modellwahl durchgeführt.

Die FSME-Melddaten lagen nur auf Kreisebene vor, also war dies die niedrigste räumliche Aggregationsstufe. Zur Vermeidung einer zu geringen Datendichte und damit verbundenen numerischen Problemen und geringer Schätzgenauigkeit, erfolgte eine zeitliche Zusammenfassung der Daten nach Jahren.

²⁴Devianz-Informationskriterium

Geoadditive Poisson-Regressionsmodelle mit zufälligen Effekten können den Einfluss metrischer Kovariablen auf Zähldaten (Fallzahlen pro Kreis und Jahr) ohne Linearitätsannahme flexibel modellieren. Dabei konnte sowohl die longitudinale Datenstruktur (fünf jährlich wiederholte Beobachtungen pro Kreis) als auch die räumliche Heterogenität und Abhängigkeiten durch Nachbarschaft berücksichtigt werden.

Zur Schätzung der Kovariablen und deren Unsicherheit wurde das Bayesianische Inferenzkonzept angewendet. Aus der Schätzung der (hochdimensionalen) Posteriori-Verteilung wurden die Parameter und deren Unsicherheit (Kreditabilitätsintervalle) geschätzt. Zur Berechnung wurde die Software BayesX verwendet.

Die Posteriori-Verteilung ist analytisch nicht zugänglich, da die Verteilungsform nicht bekannt ist. Sie wurde mittels MCMC²⁵-Methoden erzeugt. Dazu waren Rechenverfahren nötig, bei denen eine lange Markov-Kette generiert wird, deren stationäre Verteilung die Posteriori-Verteilung ist. Die generierten Zufallszahlen konnten als Realisierungen der Posteriori-Verteilung angesehen werden, daher war es möglich die statistischen Kennwerte der Verteilung zu schätzen.

Im Startmodell wurden zeitkonstante Kovariablen linear und zeitabhängige Kovariablen mit kubischen P-Splines (mit 20 Knoten) modelliert. Dazu wurde ein generalisiertes additives gemischtes Modell verwendet wobei, unter der Annahme ähnlicher Risiken benachbarter Kreise, dem strukturierten räumlichen Effekt ein Gauß-Markov-Zufallsfeld zu Grunde gelegt wurde und für die zufälligen Effekte im unstrukturierten räumlichen Effekt die Normalverteilungsannahme galt. Zunächst wurden jahresspezifische Effekte durch Jahresindikatoren (2002 ist Referenzkategorie) dargestellt die bei der folgenden Modellwahl ggf. auf einen linearen Trend vereinfacht werden konnten. Das volle Modell enthielt 4 glatt modellierte und 15 linear modellierte Kovariablen, sowie räumliche Effekte. Verwendet wurden die folgenden Parameter:

KreisID Eindeutige Identifikationsnummer der Landkreise in Baden-Württemberg

Infektionen Anzahl der gemeldeten FSME-Infektionen pro Landkreis

logAnInf logarithmierte jährliche Referenz-Fallzahl

²⁵Markov-Chain-Monte-Carlo

- Planar** Fläche weniger als 150 m ü. NHN des Landkreises
- Kollin** Fläche 150-300 m ü. NHN des Landkreises
- Submontan** Fläche 300-450 m ü. NHN des Landkreises
- Montan** Fläche 450-1400 m ü. NHN des Landkreises
- Auenwald** Fläche natürlicher Pflanzengesellschaft entlang von Bächen und Flüssen im Landkreis
- KrautStrauchVegetation** Zusammenfassung der Kategorien Natürliche Grünflächen, Heide und Moorheiden sowie Wald-Strauch Übergangsstadien mit der Fläche pro Kreis
- Nadelwald** Nadelwaldfläche pro Landkreis
- Laubwald** Laubwaldfläche pro Landkreis
- Mischwald** Mischwaldfläche pro Landkreis
- Temperatur** Jahres-Mitteltemperatur pro Landkreis
- Niederschlag** Jahres-Niederschlag pro Landkreis
- Sonnenscheindauer** Jahres-Sonnenscheindauer pro Landkreis
- Trockenheitsindex** Jahres-Trockenheitsindex pro Landkreis
- TemperaturVorjahr** Mitteltemperatur des Vorjahres pro Landkreis
- NiederschlagVorjahr** Niederschlag des Vorjahres pro Landkreis
- SonnenscheindauerVorjahr** Sonnenscheindauer des Vorjahres pro Landkreis
- TrockenheitsindexVorjahr** Trockenheitsindex des Vorjahres pro Landkreis
- istStadtkreis** Indikatorvariable für Stadtkreis (1) bzw. Landkreis (0)

Hiervon ausgehend erfolgte die Modellwahl zur Reduktion der Parameteranzahl. Um ein Modell mit guter Anpassung an die Daten, das zugleich sparsam in der Anzahl der Parameter war, zu finden, wurde als Modellwahl-Kriterium das DIC verwendet, das sowohl die Datenanpassung, wie auch die Komplexität des Modells widerspiegelt. In Analogie zum AIC²⁶ (vergl. Kapitel 4.3.3) werden Modelle mit kleinem DIC bevorzugt.

Die Modellwahl erfolgte, ausgehend von einem komplexen, vollen Modell, durch schrittweise Vereinfachung. Dabei wurden jeweils verschiedene Submodelle geschätzt und das Submodell ausgewählt, das unter den geschätzten Submodellen das kleinste DIC hatte. Die Submodelle wurden erzeugt, indem eine Kovariable linear anstelle von polynomial angepasst, eine linear modellierte Kovariable aus dem Modell entfernt oder Dummy-Variablen für die einzelnen Jahre zu einem linear modellierten zeitlichen Trend zusammengefasst wurden. Wenn keines der Submodelle ein kleineres DIC als das vorangegangene Modell besaß, war die Modellwahl beendet und das optimale Modell gefunden.

Die Schätzung und Interpretation der Ergebnisse linearer Effekte erfolgte, indem bestimmt wurde, ob die Kovariable einen auf dem 5%-Niveau signifikanten Einfluss auf die Zielgröße hatte. Dazu wurde das 95%-Kredibilitätsintervall des Schätzers betrachtet. Dieses gab den Bereich der höchsten Posteriori-Dichte an, in dem der Parameter mit einer (Posteriori-)Wahrscheinlichkeit von 95% liegt.

In der Bayesianischen Inferenz kann die Wahrscheinlichkeit $P(> 1)$ dafür geschätzt werden, dass der exponenzierte Parameter größer als 1 ist, also ein Anstieg der zugehörigen Kovariable das Risiko erhöht. Ist die geschätzte Wahrscheinlichkeit größer als 95%, so hat die entsprechende Kovariable einen, auf dem 5%-Niveau signifikanten, Risiko-erhöhenden Einfluss. Ist sie hingegen für einen Parameter $P(> 1)$ kleiner als 0.05, so verringert sich das FSME-Risiko signifikant auf dem 5%-Niveau, wenn der Wert der zugehörigen Kovariable zunimmt.

Nichtlineare Zusammenhänge wurden flexibel, mit Polynom-Splines, modelliert. Der Funktionsverlauf wurde durch die Posteriori-Mittelwerte der simulierten Funktionen geschätzt und ein punktwises 95%-Kredibilitätsband, das durch die punktwisen 2.5% und 97.5%-Quantile der simulierten Funktionen verlief, gab den Vertrauensbereich an. Zusätzlich konnte aus den

²⁶Akaiikes Informationskriterium

MCMC-Stichproben ein simultanes 95%-Kredibilitätsband konstruiert werden, das den globalen Bereich angibt, in dem die „wahre“ Funktion mit einer (Posteriori-)Wahrscheinlichkeit von 95% liegt. Ob der Effekt einer stetigen Kovariable signifikant von 1 (kein Einfluss) verschieden ist, konnte dadurch beurteilt werden, ob das Kredibilitätsband die horizontale Linie durch die 1 enthielt. Lag diese nicht vollständig im Kredibilitätsband, so wird von einer signifikanten Kovariable gesprochen.

4.3.3 Statistische Auswertung der Daten mittels geographisch gewichteter Regression

Das GIS der Firma ESRI besitzt, neben einer Vielzahl von Hilfsmitteln zur Datenanpassung und -umwandlung, eine Toolbox „Spatial Statistics Tools - Modeling Spatial Relationships“. Diese Toolbox enthält die, für eine Untersuchung von Abhängigkeiten verschiedener Variablen notwendigen, statistischen Anwendungen. Zum einen beinhaltet die Toolbox ein Tool welches eine globale Regression mittels OLS durchführt, zum anderen ein Tool für eine lokale Regressionsanalyse mittels GWR (Kapitel 4.3.1).

Die Methoden OLS und GWR sind in den Tools „Ordinary Least Squares“ und „Geographically Weighted Regression“ umgesetzt. Beide Analysen können darstellen, wie stark eine oder mehrere Variablen eine positive oder negative Änderung bei einer anderen Variable hervorrufen könnten. Die OLS stellt mit der linearen Regressionsgleichung einen guten Ausgangspunkt für alle weiteren räumlichen Regressionsanalysen dar.

Zunächst wurden alle Daten so angepasst, dass sie die richtigen Datenformate für die Benutzung des OLS-Tools aufwiesen. Es wurden zur Untersuchung möglicher extremer Datenwerte, sogenannter Ausreißer, sowie zur Prüfung auf Linearität Scatterplots erstellt. Im folgenden werden die benutzten Parameter aufgeführt und beschrieben (siehe auch Kapitel 4.2.2 und 4.2.3):

KreisID Eindeutige Identifikationsnummer der Landkreise in Baden-Württemberg

Einwohnerzahl Anzahl der Einwohner pro Landkreis

Fläche Fläche des Landkreises

Einwohnerdichte Anzahl der Einwohner pro Fläche des Landkreises

Infektionszahl Anzahl der gemeldeten FSME-Infektionen pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006

Planar Fläche weniger als 150 m ü. NHN des Landkreises

Kollin Fläche 150-300 m ü. NHN des Landkreises

Submontan Fläche 300-450 m ü. NHN des Landkreises

Montan Fläche 450-1400 m ü. NHN des Landkreises

Paenemontan Fläche mäßig warmer Gebiete mit sehr hoher Niederschlagssumme bei relativ gleichmäßiger Niederschlagsverteilung des Landkreises

Auenwald Fläche natürlicher Pflanzengesellschaft entlang von Bächen und Flüssen im Landkreis

KrautStrauchVegetation Zusammenfassung der Kategorien Natürliche Grünflächen, Heide und Moorheiden sowie Wald-Strauch Übergangsstadien mit der Fläche pro Kreis

Nadelwald Nadelwaldfläche pro Landkreis

Laubwald Laubwaldfläche pro Landkreis

Mischwald Mischwaldfläche pro Landkreis

Übernachtungszahl Anzahl der Übernachtungen pro Landkreis gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006

Niederschlag Niederschlag pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

Sonnenscheindauer Sonnenscheindauer pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

Temperatur Jahres-Mitteltemperatur pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

TemperaturmittelHerbst Temperatur gemittelt über die Monate September bis November der Jahre 2001 bis 2005

TemperaturmittelWinter Temperatur gemittelt über die Monate Dezember bis Februar der Jahre 2001 bis 2005

TemperaturmittelFrühling Temperatur gemittelt über die Monate März bis Mai der Jahre 2002 bis 2006

TemperaturmittelSommer Temperatur gemittelt über die Monate Juni bis August der Jahre 2002 bis 2006

Trockenheitsindex Verhältnis von Niederschlag und Temperatur pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

NFK Verfügbares Bodenwasser aus nFK-Werten gemittelt pro Landkreis

Feldhase Jagdstreckenangaben zum Feldhasen pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

Rehwild Jagdstreckenangaben zum Rehwild pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

Fuchs Jagdstreckenangaben zum Fuchs pro Landkreis über die Jahre 2002 bis 2006 gemittelt

Alle ausgewählten Parameter wurden in ein Shape-File zusammengefasst, um eine OLS durchführen zu können. Mit Hilfe des ModelBuilders in Arc-View konnten, für eine optimale Auswertung, die Arbeitsschritte des Tools „Spatial Autocorrelation Morans I“ und des Tools „Ordinary Least Squares“ miteinander verknüpft werden.

Zu Beginn einer jeder OLS galt es, das richtige Modell auszuwählen. Nach Einfügen der abhängigen Variable (FSME-Fallzahlen) und aller erklärenden Variablen in das Modell, konnte die erste OLS durchgeführt werden. Bevor die Auswertung der OLS-Ergebnisse erfolgte, wurde durch die räumliche Autokorrelation der Residuen festgestellt, ob eine Cluster-Bildung hoher oder niedriger Residuen vorlag. In dem Fall kann davon ausgegangen werden, dass eine wichtige Kovariable im Modell fehlt und damit das Ergebnis der OLS nicht vertrauenswürdig wäre. Falls keine Cluster-Bildung vorlag, wurden die Ergebnisse anhand des OLS-Zusammenfassungsberichtes (Abbildung 4.15) ausgewertet.

Als erster Schritt wurde bei der Analyse des OLS-Modells die Modell-Performance bewertet, die durch den R^2 -Wert (Multiple R-Squared) und

4 Material und Methoden

```
Skript OrdinaryLeastSquares wird ausgeführt...
Summary of OLS Results
Variable   Coefficient StdError t-Statistic Probability Robust_SE Robust_t Robust_Pr VIF [1]
Intercept -12.255880  8.693797 -1.409727  0.167201  7.939290 -1.543700  0.131406  -----
Nadelwald  0.012593  0.004727  2.663737  0.011489*  0.004494  2.801912  0.008128*  3.037715
Mischwald  0.020480  0.007951  2.575762  0.014256*  0.006514  3.144135  0.003331*  2.849282
Übernachtungszahl 0.000001  0.000001  1.757183  0.087389  0.000001  1.673061  0.102984  1.524087
Feldhase  0.007006  0.001751  4.001277  0.000300*  0.002493  2.809630  0.007970*  2.538956
Fuchs     -0.002051  0.000608  -3.371354  0.001798*  0.000486  -4.216659  0.000159*  2.779003
TemperaturmittelHerbst 0.129442  0.087369  1.481549  0.147160  0.078693  1.644890  0.108697  4.310853
TemperaturmittelWinter -0.094588  0.052136  -1.814263  0.077978  0.044419  -2.129419  0.040129*  2.010775

OLS Diagnostics
Number of Observations: 44      Number of Variables: 8
Degrees of Freedom: 36      Akaike's Information Criterion (AIC) [2]: 214.273792
Multiple R-Squared [2]: 0.689004      Adjusted R-Squared [2]: 0.628532
Joint F-Statistic [3]: 11.393859      Prob(>F), (7,36) degrees of freedom: 0.000000*
Joint Wald Statistic [4]: 42.088499      Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom: 0.000000*
Koenker (BP) Statistic [5]: 12.438918      Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom: 0.087018
Jarque-Bera Statistic [6]: 0.002706      Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom: 0.998648

Notes on Interpretation
* Statistically significant at the 0.05 level.
[1] Large VIF (> 7.5, for example) indicates explanatory variable redundancy.
[2] Measure of model fit/performance.
[3] Significant p-value indicates overall model significance.
[4] Significant p-value indicates robust overall model significance.
[5] Significant p-value indicates biased standard errors; use robust estimates.
[6] Significant p-value indicates residuals deviate from a normal distribution.

WARNING 000851: Use the Spatial Autocorrelation (Moran's I) Tool
to ensure residuals are not spatially autocorrelated.
Writing Coefficient Output Table...
D:\GIS_Analyse\OLS\OLS_COT.dbf
Writing Diagnostic Output Table...
D:\GIS_Analyse\OLS\OLS_DOT.dbf
Completed script OrdinaryLeastSquares...
(Ordinary Least Squares) erfolgreich ausgeführt.
Endzeit: Mon Sep 17 15:55:24 2012 (Dauer: 3.00 Sekunden)
(Spatial Autocorrelation (Morans I)) wird ausgeführt: SpatialAutocorrelation D:\GIS_Analyse\OLS\OLS2.shp
StdResid true "Inverse Distance" "Euclidean Distance" Row # # 0,382104 2,887414 0,003884
Startzeit: Mon Sep 17 15:55:24 2012
Skript SpatialAutocorrelation wird ausgeführt...
WARNING 000853: The default neighborhood search threshold was 33489,4699664879.

Global Moran's I Summary
Moran's Index: 0,285936
Expected Index: -0,023256
Variance: 0,019926
Z Score: 2,190364
p-value: 0,028498

Completed script SpatialAutocorrelation...
```

Abbildung 4.15: Beispiel eines Zusammenfassungsberichtes des Ergebnisses einer OLS in ArcView

den bereinigten R^2 -Wert (Adjusted R-Squared) repräsentiert werden. Der bereinigte R^2 -Wert beschreibt die Modell-Performance etwas genauer als der R^2 -Wert, da er die Modellkomplexität (die Anzahl von Variablen) im Verhältnis zu den Daten widerspiegelt.

Die Bewertung der Modellsignifikanz erfolgte über die Joint F-Statistic bzw. Joint Wald Statistic. Die Joint F-Statistic ist nur vertrauenswürdig, wenn die Koenker-(BP)-Statistik (siehe unten) nicht statistisch signifikant ist. Ist die Koenker-(BP)-Statistik signifikant hilft die Joint Wald Statistic um die allgemeine Modellsignifikanz zu ermitteln. Die Nullhypothese für beide Tests besagt, dass die erklärenden Variablen im Modell nicht wirksam sind. Ein Konfidenzniveau von 95% bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für ein statistisch signifikantes Modell unter 0,05 liegt.

Bei der Bewertung der Stationarität wurde auf die Werte der Koenker (BP) Statistic (Koenkers t-verteilte Breusch-Pagan-Statistik) geachtet. Dieser Wert zeigt, ob die Residuen eine gleichmäßige Verteilung im Raum aufweisen. Falls dies nicht der Fall ist spricht man von einer Heteroskedastizität im Modell. Je kleiner der Wert ist desto größer ist die regionale Variation der entsprechenden Kovariable. Lag der Wert unter 0,05 mussten die robuste Wahrscheinlichkeit der OLS-Koeffizienten betrachtet werden, um statistische Signifikanz der jeweilige Kovariable festzustellen.

Die Bestimmung der Modelltendenz basiert auf Werten der Jarque-Bera-Statistik, mit der Nullhypothese das die Residuen normal verteilt sind. Bei einem p-Wert unter 0,05 für ein Konfidenzniveau von 95% sind die Residuen nicht normal verteilt und das Modell ist verzerrt.

Zum Vergleich unterschiedlicher Modelle wurde der AIC herangezogen. Je kleiner der AIC-Wert eines Modells ist desto besser ist das Modell, da sich das Modell den beobachteten Daten besser annähert.

Nach Prüfung des Gesamtmodells galt es die einzelnen Parameter zu überprüfen. Hierbei waren drei Werte von besonderer Bedeutung: Koeffizient, Wahrscheinlichkeit oder robuste Wahrscheinlichkeit und VIF²⁷. Der Koeffizient β_i in Gleichung (4.7) stellt die Stärke sowie die Art der Beziehung zwischen der abhängigen Variable und den Kovariablen dar. Die Signifikanz der Wahrscheinlichkeit des Koeffizienten wurde in der Ergebnistabelle mit einem Sternchen versehen. Wenn eine Kovariable einen solchen statistisch signifikanten Koeffizienten aufwies sowie nicht redundant zu einer anderen

²⁷Varianzinflationsfaktor

Kovariablen war, trug sie wesentlich zum Regressionsmodell bei. Solche Redundanzen unter den Kovariablen deckte der VIF-Wert auf. Bei einem Wert größer 7,5 wurden die entsprechenden Parameter entfernt, da sie dasselbe aussagen wie andere Kovariablen in dem Modell und eine Multikollinearität vorliegt.

Durch Prüfung aller oben genannter Diagnose-Schritte galt es schrittweise das beste Modell für die Fragestellung zu finden. Dabei wurden einzelne Kovariablen aus dem Modell entfernt und verschiedene Kombinationen getestet.

Danach wurde mit ausgewählten Modellen eine GWR durchgeführt. Auch hier konnten mit Hilfe des Modellbuilders mehrere Auswertungsschritte miteinander verknüpft werden. Hierzu gehörten das Tool „Spatial Autocorrelation Morans I“ und das Tool „Geographically Weighted Regression“.

Nach Einfügen der ausgewählten Modelle in die GWR erfolgte die Prüfung auf Cluster-Bildung des Modells (siehe oben). Hierbei wurde überprüft, ob es Probleme mit der lokalen Multikollinearität gab. Die Diagnosen des Tools „Geographically Weighted Regression“ werden mit Zusammenfassungsinformationen zu Modellvariablen und Parametern in einer Tabelle ausgegeben. Anhand dieser konnte erkannt werden, ob das getestete Modell Gültigkeit hat. Der AIC-Wert stellte auch hier den Messwert für die Modell-Performance dar. Hiermit konnten unterschiedliche Modelle mit der gleichen abhängigen Variable aber unterschiedlichen Kovariablen verglichen werden. Darüber hinaus war es auch möglich den AIC-Wert eines Modell aus der GWR mit dem AIC-Wert aus der OLS zu vergleichen, um festzustellen ob für das jeweilige Modell eine OLS oder auch eine GWR sinnvoll war.

Das Tool „Geographically Weighted Regression“ gab zusätzlich eine Ausgabe-Feature-Class mit unterschiedlichen Angaben aus. Neben den Regressionsresiduen, die durch das Tool „Spatial Autocorrelation Morans I“ bereits auf Multikollinearität getestet wurden, enthielt die Ausgabe-Feature-Class Angaben zu den beobachteten und vorhergesagten y-Werten, die Bedingungsnummer (cond), der Local R^2 Wert, den erklärenden Variablenkoeffizienten und den Standardfehler. Die Bedingungsnummer gab Auskunft über die lokale Multikollinearität und sollte nicht größer als 30 sein, da sonst das Ergebnis des Modells unzuverlässig war. Die Modell-Performance wurde wieder durch den R^2 (Local R^2) dargestellt. Das Feld „Predict“ gab die geschätzten (oder angepassten) y-Werte, die von der GWR berechnet wurden an. Die Residuen wurden hier ebenfalls aufgeführt und gleichzeitig mit einer Cold-to-Hot-Rendering gerenderte Karte automatisch generiert. Der

Koeffizientenstandardfehler konnte Hinweise auf Probleme mit der lokalen Multikollinearität geben und zur Berechnung der Signifikanz herangezogen werden.

5 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Literaturrecherche sowie die Ergebnisse der beiden verwendeten statistischen Methoden dargestellt. Insbesondere werden die in den als Endmodelle identifizierten Regressionsmodellen verwendeten Kovariablen und die zugehörigen Koeffizienten betrachtet.

Um eine gute Lesbarkeit und Struktur der Arbeit zu gewährleisten, wurden sowohl die Materialbearbeitung als auch die Methodenerforschung, die auch Ergebnisse dieser Arbeit darstellen, bereits im Kontext des Kapitel 4 erörtert, das die verwendeten Materialien und ausgearbeiteten Methoden beschreibt.

5.1 Ergebnisse der Literaturrecherche

Die durchgeführte Literaturrecherche ergab bezüglich der Auswahl des Vektors und der VBI wichtige Kriterien. Es stellte sich heraus, dass die Schildzecke *Ixodes ricinus* als zu untersuchender Vektor sehr geeignet ist, da sie zum einen zwei VBI, Lyme-Borreliose und FSME, überträgt und zum anderen ein endogener Organismus ist, der von äußeren Umwelteinflüssen stark beeinflusst wird.

Als zu untersuchende VBI wurde FSME ausgewählt, da betroffene Landkreise an nicht betroffene Landkreise grenzen, also lokal sehr begrenzt auftreten können und so eine gute Diskussionsgrundlage bilden sowie ideale Vergleichsmöglichkeiten bestehen (siehe Abbildung 5.1). Darüber hinaus spricht für die Auswahl von FSME die stetige Zunahme der Verbreitung in Deutschland und Europa (Kapitel 3.1.2).

In Deutschland ist Baden-Württemberg diesbezüglich ein besonderes Bundesland, da es, zusammen mit Bayern, die höchsten FSME-Fallzahlen aufweist und zudem auch äußerst interessante, inzidenzfreie Inseln (z.B. Heilbronn Stadt, Hohenlohe Kreis) auftreten (siehe Abbildung 5.2 und Abbildung 5.1). Daher wurde dieses Bundesland als Untersuchungsgebiet ausgewählt. Der Untersuchungszeitraum beginnt mit Einführung des Infektionsschutzgesetzes und der damit verbundenen Meldepflicht für FSME im Januar 2001.

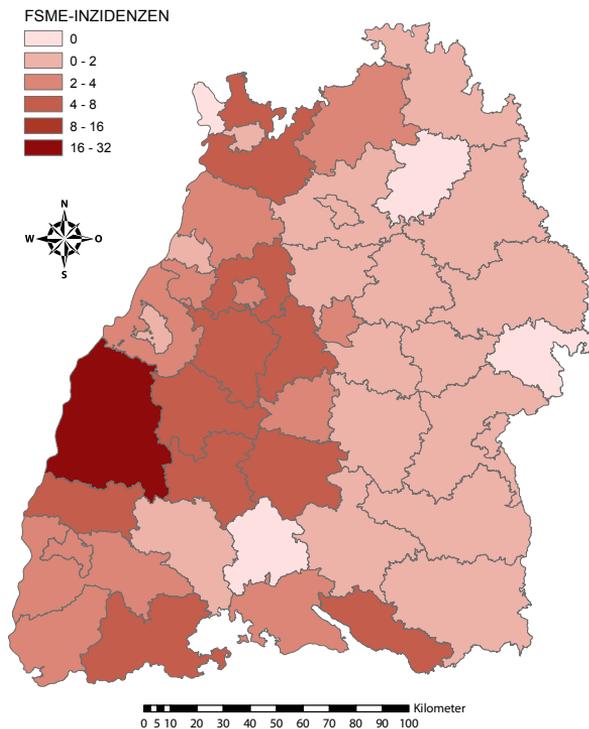


Abbildung 5.1: FSME-Fallzahlen pro Landkreis von Baden-Württemberg gemittelt über die Jahre 2002 bis 2006

Zusätzlich erfolgte eine Einschränkung auf die, für die Verbreitung von FSME wichtigen, Umweltfaktoren:

- Vegetation: Misch- und Nadelwälder, Kraut- und Strauchschicht
- Urbanisierung: Einwohnerdichte, Versiegelungsgrad und Veränderungen in der Stadtstruktur
- Wirtsvorkommen: Größere Waldtiere (v. a. Rehe, Füchse, Hirsche), Nagetiere (v. a. Langschwanzmäusen und Hasen)
- Klima: Temperatur, relative Luftfeuchte, Niederschlag und Sonnenscheindauer
- Tourismus

Zur weiteren Auswertung wurde anhand der Literaturrecherche ein In-

dikatorensset erstellt, welches Aufschluss über mögliche Parameter gibt, die mit der Verbreitung von FSME und *Ixodes ricinus* im Zusammenhang stehen könnten. Das Indikatorenset beinhaltet die relevanten Indikatoren samt Forschungsergebnissen und potentiellen Bezugsquellen.

Tabelle 5.1: Indikatorenset zur Analyse möglicherweise relevanter Einflussgrößen (+ = relevant, - = nicht relevant, ? = ungeklärt) für die Verbreitung von FSME

Indikator	Literatur-Beleg	Relevanz	Quellen	
Klima	Mittel-temperatur	Zeman u. Bene (2004)	- DWD	
		Jensen u. Jespersen (2005)	+	
		Lindgren u. a. (2000)	+	
		Jaenson u. Lindgren (2011)	+	
		Jore u. a. (2011)	+	
	Trockenheitsindex		?	
	Sonnenscheindauer		?	
	Niederschlag	Jaenson u. Lindgren (2011)	+	
		Ruiz-Fons u. a. (2012)	+	
	Temperatur des Vorjahres	Zeman u. Bene (2004)	+	
Montatsabhängigkeit/ Jahreszeiten	Lindgren u. a. (2000)	+		
	Vor u. a. (2010)	+		
	Meyer-Kayser u. a. (2012)	+		
	Pérez u. a. (2012)	+		
	Egyeda u. a. (2012)	+		
relative Luftfeuchte	Andreassen u. a. (2012)	+		
Urbanisierung	Verteilung der Einwohnerzahl		? StaLa BW	
	Erholungsflächen (Tourismus)		?	
	Übernachtungszahlen		?	
	Ausbildungsniveau	Vanwambeke u. a. (2010)	+	
	Einkommen	Vanwambeke u. a. (2010)	+	
	Landnutzung	Vanwambeke u. a. (2010)	+	CLC
Wirtstiere	Langschwanzmaus (<i>Muridae</i>)	Zeman u. Bene (2004)	+	Literatur
		Kiffner u. a. (2011)	+	
	Gelbhalsmaus	Pérez u. a. (2012)	+	

Tabelle 5.1: Indikatorenset zur Analyse möglicherweise relevanter Einflussgrößen für die Verbreitung von FSME (Fortsetzung)

Indikator	Literatur-Beleg	Relevanz	Quellen
(<i>Apodemus flavicollis</i>) Waldmaus			
(<i>Apodemus sylvaticus</i>) Rötelmaus (<i>Myodes</i>)			
Vögel	Norte u. a. (2012)	+	
Rehwild	Zeman u. Bene (2004)	+	WFS BW
(<i>Capreolus capreolus</i>)	Rizzoli u. a. (2009)	+	
	Kiffner u. a. (2010)	+	
	Gilbert (2010)	+	
	Jaenson u. a. (2012c)	+	
Feldhase (<i>Lepus europaeus</i>)	Haemig u. a. (2008)	-	
Fuchs (<i>Vulpes vulpes</i>)	Haemig u. a. (2008)	+	
	Kiffner u. a. (2010)	-	
	Meyer-Kayser u. a. (2012)	+	
Rotwild (<i>Cervus elaphus</i>),	Kiffner u. a. (2010)	-	
Pferde	Ruiz-Fons u. a. (2012)	+	
Vegetation			
Laubwald (Buchenwald, Eichenwald)	Lindström u. Jaenson (2003)	+	CLC
	Tack u. a. (2012a)	+	
Kraut- und Strauchschicht	Rizzoli u. a. (2009)	-	
	Tack u. a. (2012a)	+	
Nadelwald	Lindström u. Jaenson (2003)	+	
Mischwald		?	
Wiesen und offene Habitate		?	
Boden- verhältnisse			
Streu- und Humusschicht	Tack u. a. (2012a)	+	BÜK200
Saure und humide Böden	Kurtenbach u. a. (1995)	+	
Bodenfeuchtigkeit	Herrmann u. Gern (2012)	+	WaBoA
	Li u. a. (2012)	+	
Geländehöhe			
Klimahaupttypen/ Höhenstufen	Gilbert (2010)	+	FVA BW

Es hat sich herausgestellt, dass die Indikatoren in sechs Hauptindikatorengruppen eingeteilt werden können (Tabelle 5.1). Es wurden die Gruppen Klima, Urbanisierung, Wirtstiere, Vegetation, Bodenverhältnisse und Geländehöhe gebildet, denen wiederum detailliertere Parameter untergeordnet wurden.

Für die Gruppe Klima ergaben sich sieben Unterkategorien, die sich aus fünf bereits erforschten Parametern und zwei nicht erforschten Parametern zusammensetzen. Die erforschten Parameter (Mitteltemperatur, Niederschlag, Temperatur des Vorjahres, Jahreszeiten, Relative Luftfeuchte) bestätigen, bis auf eine Ausnahme (Zeman u. Bene (2004)), den Einfluss auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* (Jensen u. Jespersen (2005), Lindgren u. a. (2000), Jaenson u. Lindgren (2011), Jore u. a. (2011), Ruiz-Fons u. a. (2012), Zeman u. Bene (2004), Lindgren u. a. (2000), Vor u. a. (2010), Meyer-Kayser u. a. (2012), Pérez u. a. (2012), Egyeda u. a. (2012), Andreassen u. a. (2012)). Bei den unerforschten Parametern (Trockenheitsindex und Sonnenscheindauer) besteht ein evaluierter Verdacht, dass diese Faktoren die Verbreitung von FSME und *Ixodes ricinus* beeinflussen können. Alle Einflussparameter des Indikators Klima können über den DWD bezogen werden.

Die Gruppe Urbanisierung enthält sechs Unterkategorien, die sich ebenfalls aus bereits erforschten Parametern und nicht erforschten Parametern zusammensetzen. Die Hälfte der Parameter (Ausbildungsniveau, Einkommen, Landnutzung) bestätigen einen positiven Einfluss auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* (Vanwambeke u. a. (2010)), die anderen drei (Einwohnerzahl, Erholungsfläche, Übernachtungszahlen) stehen im Verdacht einen Einfluss zu haben, dies ist jedoch durch Studien noch nicht bestätigt. Die Daten zu den Indikatoren der Gruppe Urbanisierung werden vom StaLa BW und vom CLC Projekt bereitgestellt.

Die dritte Gruppe im Indikatorenset stellen die Wirtstiere dar. Hierbei handelt es sich um sieben verschiedene Unterkategorien, bei denen bereits positive oder negative Wirkung auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* festgestellt wurde (Zeman u. Bene (2004), Kiffner u. a. (2011), Pérez u. a. (2012), Norte u. a. (2012), Kiffner u. a. (2010), Gilbert (2010), Jaenson u. a. (2012c), Haemig u. a. (2008), Meyer-Kayser u. a. (2012), Ruiz-Fons u. a. (2012)). Die WFS BW liefert Datenmaterial über die Verbreitung des Rehwilds, des Feldhasen, des Fuchses und des Rotwilds. Daten zur Verbreitung von Pferden, Vögeln und verschiedenen Mäusearten sind lückenhaft und könnten nur über Literaturbeschreibungen

zusammengestellt werden.

Die Vegetation stellt eine weitere Gruppe im Indikatorenset dar und beinhaltet drei Unterkategorien (Laubwald, Kraut- und Strauchschicht, Nadelwald), die bereits in Studien auf ihren Einfluss auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* getestet worden sind (Lindström u. Jaenson (2003), Tack u. a. (2012a), Rizzoli u. a. (2009)). Mischwald sowie Wiesen und offene Habitats stellen zwei noch zu erforschende, jedoch im Verdacht stehende Unterkategorien dar. Das Datenmaterial dieser Parameter kann über das CLC Projekt bezogen werden.

Die Gruppe der Bodenverhältnisse setzt sich zusammen aus den drei Unterkategorien Streu- und Humusschicht, saure und humide Böden sowie Bodenfeuchtigkeit. Für sämtliche Parameter dieser Gruppe konnte in früheren Studien bereits ein Einfluss auf FSME bzw. *Ixodes ricinus* festgestellt werden (Tack u. a. (2012a), Kurtenbach u. a. (1995), Herrmann u. Gern (2012), Li u. a. (2012)). Mögliche Bezugsquellen dieser Parameter ist zum einen die BÜK200¹ und zum anderen der WaBoA.

Die letzte Gruppe im Indikatorenset beinhaltet die Geländehöhe. Dabei sind die Klimahaupttypen und Höhenstufen die entscheidenden, bereits erforschten Parameter die über die FVA BW bezogen werden können (Gilbert (2010)).

Das Indikatorenset bietet einen guten Überblick über die potentiellen Einflussparameter und stellt die Basis dar, geeignete Parameter für die statistischen Auswertungen in dieser Arbeit zu identifizieren.

¹Bodenübersichtskarte 1:200.000

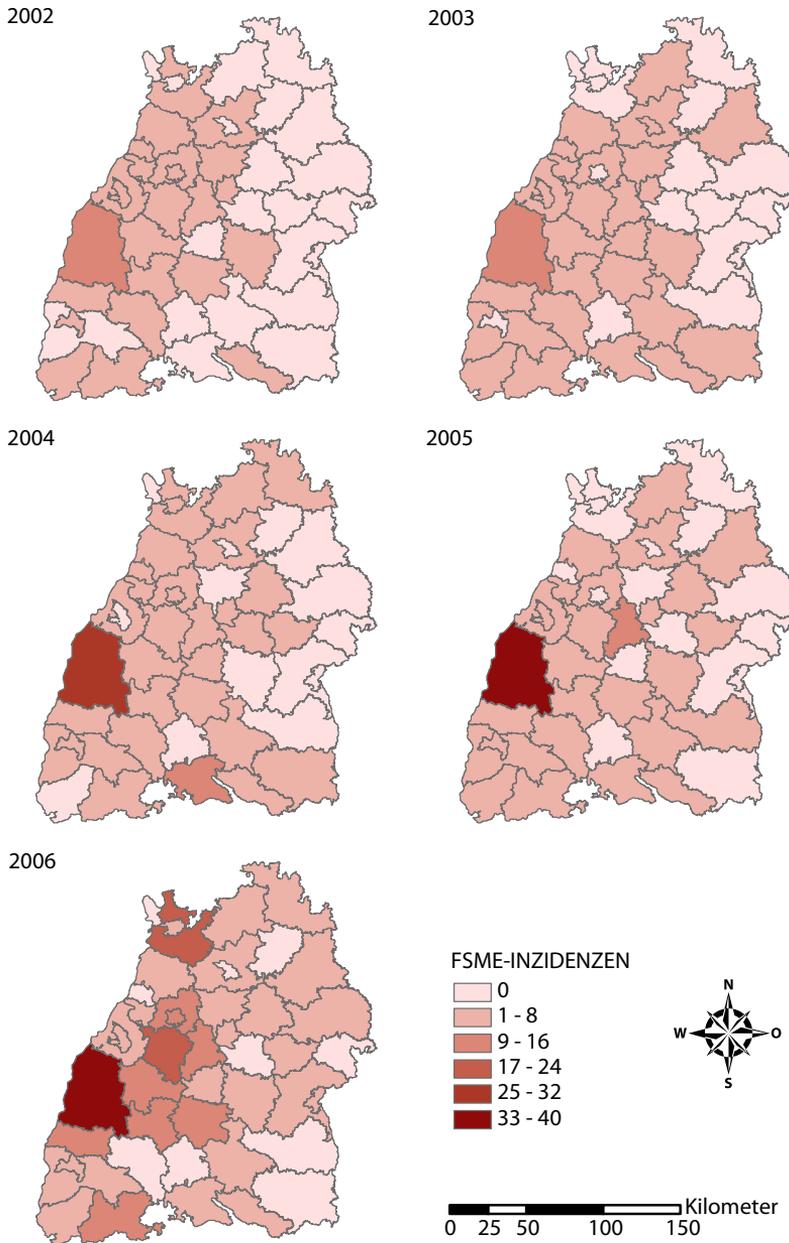


Abbildung 5.2: FSME-Inzidenzen pro Landkreis von Baden-Württemberg in den Jahren 2002 bis 2006

5.2 Ergebnisse des geoadditiven Poisson-Regressionsmodells

Im Folgenden sind die Ergebnisse der beiden verwendeten statistischen Methoden dargestellt. Insbesondere werden die in den als Endmodelle identifizierten Regressionsmodellen verwendeten Kovariablen und die zugehörigen Koeffizienten betrachtet.

Das Startmodell des geoadditiven Poisson-Regressionsmodells enthielt vier glatt modellierte und 15 linear modellierte Kovariablen, sowie Variablen für die räumlichen Effekte (Tabelle 5.2). Insgesamt handelt es sich um 191 absolute Parameter.

Tabelle 5.2: Prädiktor des Startmodells und des finalen Modells. Die glatten Effekte werden mit P-Splines modelliert, wobei l den Grad und m die Anzahl der Knoten angibt.

Kovariable	Startmodell	Endmodell
Planar	linear	-
Kollin	linear	-
Submontan	linear	linear
Montan	linear	linear
Auenwald	linear	linear
KrautStrauchVegetation	linear	linear
Laubwald	linear	linear
Nadelwald	linear	linear
Mischwald	linear	-
Temperatur	P-Spline($l=3, m=20$)	linear
Niederschlag	P-Spline($l=3, m=20$)	P-Spline($l=3, m=20$)
TemperaturVorjahr	P-Spline($l=3, m=20$)	P-Spline($l=3, m=20$)
NiederschlagVorjahr	P-Spline($l=3, m=20$)	linear
istStadtkreis	Dummy	Dummy
Jahr2003	Dummy	-
Jahr2004	Dummy	-
Jahr2005	Dummy	-
Jahr2006	Dummy	-
KreisID	GMZF	GMZF
KreisID	zufälliger Effekt	zufälliger Effekt

Von diesem Startmodell ausgehend wurde zur Vermeidung von Kollinearität, Identifikationsproblemen sowie einer schlechteren Modellgüte schritt-

weise die Parameterzahl reduziert und das Modell durch Linearisierung vereinfacht (Tabelle 5.3). Dabei wurde, wie in Kapitel 4.3.2 beschrieben, der berechnete DIC verwendet, um die Modellgüte zu bestimmen. Mittels dieses sukzessiven Prozesses konnte so ein möglichst einfaches Modell, also ein Modell mit möglichst wenigen, möglichst linear eingehenden Parametern, gefunden werden, das die Zielvariable, die FSME-Fallzahlen, bestmöglich beschreibt.

Durch eine lineare Modellierung des Vorjahres-Niederschlags konnte im ersten Schritt eine Verbesserung des DIC erzielt werden. Im zweiten Schritt konnte die stärkste Verkleinerung des DIC durch eine lineare Modellierung der Temperatur erreicht werden. In den Schritten 3 bis 5 wurden nacheinander die Fläche der Mischwälder und die Flächen der Höhenstufen „planar“ und „kollin“ aus dem Modell entfernt und eine Verbesserung des DIC festgestellt.

Nach Schritt 5 konnte keine weitere Vereinfachung durchgeführt werden, die zu einem besseren DIC geführt hätte. In Tabelle 5.3 sind alle möglichen weiteren Vereinfachungen dieses Modells als sechster Schritt dargestellt. Wie man sieht, bietet jedoch keines der Submodelle eine Verbesserung des DIC. Die mit Abstand größte Verschlechterung des DIC wurde durch das Weglassen des räumlichen Effekts (KreisID: strukturierter und unstrukturierter Effekt) erzeugt.

Durch das Streichen des Jahreseffektes konnte zwar der DIC nicht verbessert werden, dennoch scheint dieses Modell eine Verbesserung darzustellen, da hier bei den fixen Effekten etwas geringere und bei den Spline-Koeffizienten und den räumlichen Effekten kaum Autokorrelationen vorliegen. Zudem werden die Jahresunterschiede nur durch die zeitabhängigen Wettervariablen modelliert. Deshalb wird dieses Modell im folgenden als Endmodell bezeichnet.

Im folgenden werden die einzelnen Auswertungsergebnisse des Endmodells beschrieben. Hierbei wird zuerst auf die linear und nichtlinear modellierten Kovariablen eingegangen, danach erfolgt die Beschreibung der räumlichen Effekte sowie der Residuen.

In Tabelle 5.4 werden die Ergebnisse des Endmodells bezüglich der linearen Effekte dargestellt. Angegeben sind jeweils Mittelwert, Median, Standardabweichung und das 95%-Kreditabilitätsintervall, sowie die Wahrscheinlichkeit, dass der exponenzierte Parameter größer als 1 ist, also die Kovariable einen Risiko-erhöhenden Effekt besitzt.

Für den Temperatureffekt liegt der Mittelwert bei 2,79, so dass angenom-

Tabelle 5.3: Übersicht der schrittweisen Modellwahl ausgehend vom Startmodell (Schritt 0). Ein „-“ kennzeichnet, dass diese Variable aus dem Modell entfernt wurde.

Schritt	DIC	p_D	Änderung
0	-975.6	54.4	
1	-978.7	51.5	NiederschlagVorjahr (linear)
2	-979.5	49.9	Temperatur (linear)
3	-980.1	48.9	- Mischwald
4	-981.2	49.1	- Planar
5	-982.4	49.0	- Kollin
6	-980.4	49.5	- Auenwald
6	-980.3	48.9	- Laubwald
6	-980.2	49.3	- istStadtkreis
6	-980.2	49.4	- KrautStrauchVegetation
6	-979.9	48.9	- Nadelwald
6	-979.7	48.3	- Montan
6	-979.1	49.1	- Submontan
6	-977.0	46.8	TemperaturVorjahr (linear)
6	-974.8	46.4	Niederschlag (linear)
6	-974.3	48.9	- Temperatur
6	-967.6	48.3	- NiederschlagVorjahr (linear)
6	-962.2	47.6	Jahr (linear statt kategorial)
6	-943.0	48.4	- Jahr
6	-722.5	31.5	- KreisID

men werden kann, dass bei einer Steigung der Jahres-Mitteltemperatur um 1 °C in einem Kreis und gleichzeitiger Stabilität aller anderen modellierten Kovariablen das Risiko einer FSME-Infektion um 2,79 vervielfacht. Dieser Einfluss ist auf dem 5%-Niveau signifikant, da das 95%-Kredibilitätsintervall die 1 nicht umfasst.

Der Effekt des Niederschlags wird auf 0,97 geschätzt. Erhöht sich also der Vorjahresniederschlag eines Kreises um einen Meter (das entspricht fast dem durchschnittlichen Jahresniederschlag eines Kreises), so verringert sich das Risiko um 0,97. Auch dieser Effekt ist auf dem 5%-Niveau signifikant.

Tabelle 5.4: Zusammenfassende Statistiken der simulierten Posteriori-Verteilungen der exponenzierten linearen Effekte des Endmodells.

	Mittelwert	Median	SD	95%-Kredibilitätsintervall	P(>1)
Intercept	0.003	0.001	0.008	[0.0000;0.0098]	0.000
istStadtkreis	1.363	0.989	1.315	[0.0706;3.6973]	0.494
Temperatur	2.792	2.758	0.425	[2.0360;3.6724]	1.000
NiederschlagVorjahr	0.972	0.973	0.003	[0.9657;0.9787]	0.000
KrautStrauchVegetation	1.029	1.029	0.018	[0.9936;1.0643]	0.946
Laubwald	1.006	1.006	0.006	[0.9945;1.0180]	0.842
Nadelwald	1.005	1.005	0.003	[0.9995;1.0117]	0.961
Submontan	1.000	1.000	0.001	[0.9985;1.0019]	0.617
Montan	0.999	0.999	0.001	[0.9961;1.0014]	0.187
Auenwald	0.986	0.986	0.007	[0.9717;1.0009]	0.030

Das 95%-Kredibilitätsintervall und der Mittelwert des Effekts der montanen Höhenstufe sind ebenfalls jeweils kleiner als 1. Also reduziert sich für jeden zusätzlichen Quadratkilometer montaner Fläche in einem Kreis das Risiko um den Faktor 0,999 bei stabilen Kovariablen. Bei 10 km² zusätzlicher montaner Region und damit zusätzlicher Kreisfläche verringert sich das FSME-Risiko somit um ca. 1%. Dieser Effekt ist jedoch auf dem 5%-Niveau nicht signifikant.

Die Effekte der Flächen aller anderen Vegetationsparameter (Kraut- und Strauchvegetation, Laub- und Nadelwald, sowie Höhenstufen submontan und Auenwald) sowie des Stadtkreisindikators haben ebenfalls keinen auf dem 5%-Niveau signifikanten Einfluss auf das Risiko, da die jeweiligen 95%-Kredibilitätsintervalle die 1 enthalten.

Die geschätzten glatten Funktionen in Abbildung 5.3 stellen den nichtlinearen Effekt auf das FSME-Risiko für den Niederschlag und die Vorjahrestemperatur dar. Es ist zu erkennen, dass das FSME-Risiko bei steigendem Niederschlag und höheren Vorjahrestemperaturen jeweils sinkt. Diese Effekte sind beide auf dem 5%-Niveau signifikant, da die Referenzlinie bei 1 teilweise außerhalb des Kredibilitätsbands liegt. Die Schätzgenauigkeit beider Effekte ist relativ hoch, da die Kredibilitätsbänder jeweils nur eine geringe Abweichung von der Schätzung zeigen.

Abbildung 5.4 zeigt die geschätzten räumlichen Effekte des Endmodells. Der räumliche Effekt des geoadditiven Regressionsmodells fängt unbeobachtete Einflussgrößen auf, die nicht durch andere Kovariablen abgedeckt sind.

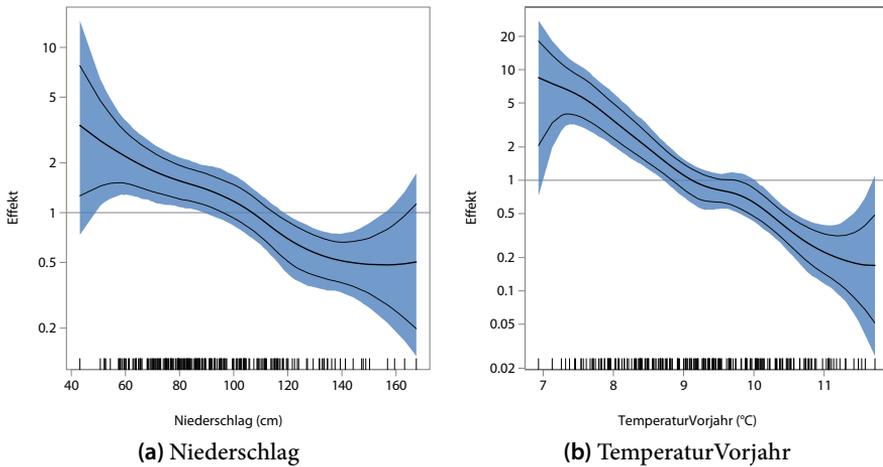


Abbildung 5.3: Finales Modell ohne Jahreseffekt: Geschätzte nichtlineare Effekte als Multiplikatoren des FSME-Risikos. Die mittlere Linie kennzeichnet den mittleren Verlauf, die äußeren Linien die punktwisen 95%-Kreditabilitätsintervalle und die blaue Fläche das simultane 95%-Kreditabilitätsband. Die Striche am unteren Rand kennzeichnen die beobachteten Werte.

Es ist zu erkennen, dass im Süd-Westen Baden-Württembergs der strukturiert räumliche Effekt das FSME-Risiko erhöht, im Nord-Osten hingegen vermindert. Die 95%-Kreditabilitätsintervalle der Effekte einiger Kreise enthalten nicht die 1. Bei einigen Kreisen im Südwesten sind sie strikt größer als 1 und weisen somit auf ein erhöhtes Rest-Risiko in dieser Region hin. Für den Stadtkreis Mannheim im Nordwesten des Landes und einige Kreise im Osten sind die Kreditabilitätsintervalle strikt kleiner als 1, womit hier ein signifikant vermindertes Rest-Risiko vorliegt (Abbildung 5.4a). Der unstrukturiert räumliche Effekt, der zusätzliche kreisspezifische Abweichungen ohne Berücksichtigung einer Nachbarschaftsstruktur zeigt, ist in allen Kreisen klein und nicht auf dem 5%-Niveau signifikant (Abbildung 5.4b).

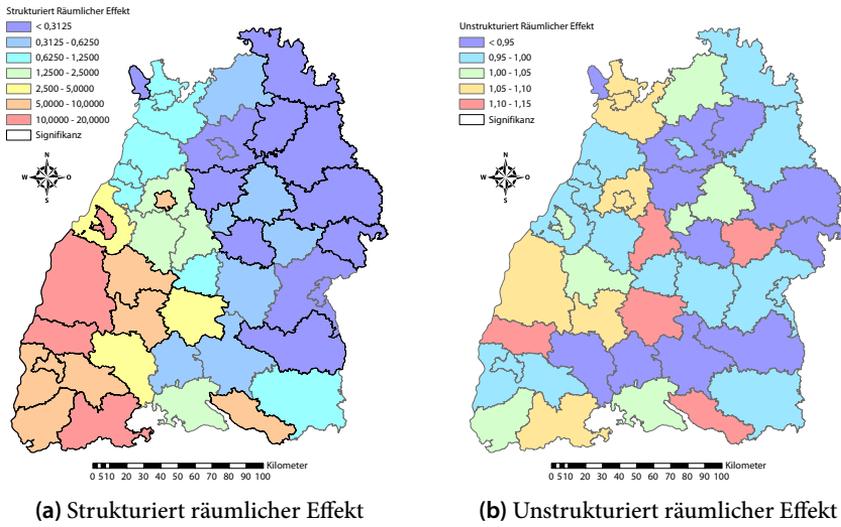


Abbildung 5.4: Räumliche Effekte

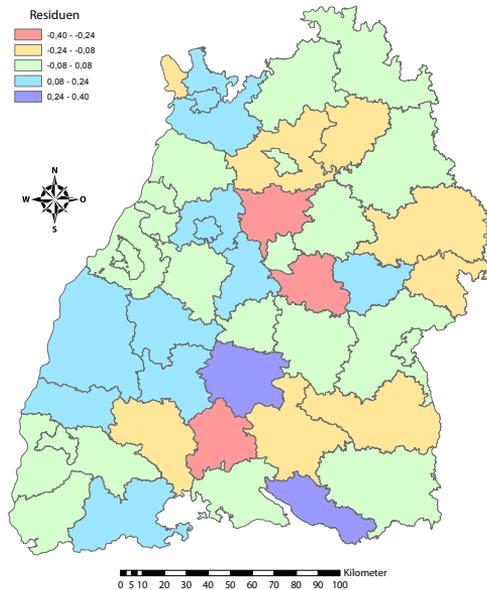


Abbildung 5.5: Residuen des Poisson-Regressionsmodells

Abbildung 5.5 visualisiert die Fallzahl-Residuen. Insgesamt nehmen die Residuen Werte zwischen -0,38 und 0,26 an. In einigen Kreisen kommt es zu einer Unterschätzung des FSME-Risikos nach diesem Modell. Aber auch eine Überschätzung des FSME-Risikos kann in einigen Kreisen beobachtet werden. Es ist jedoch keine systematische Diskrepanz zwischen den beobachteten und den, durch das Modell vorhergesagten, Fallzahlen festzustellen.

5.3 Ergebnisse der geographisch gewichteten Regression

Die Auswertung mittels GWR erfolgte in zwei Schritten, zunächst musste anhand der OLS ein stabiles, d. h. möglichst einfaches Modell gefunden werden, dessen Parameterset im zweiten Schritt mit einer räumlichen Gewichtung analysiert werden konnte. Zunächst wurden also alle Parameter verwendet und eine lineare Regressionsanalyse durchgeführt. Anhand der ausgegebenen statistischen Kenngrößen wurde dann das Modell durch Verminderung der Parameterzahl vereinfacht bis ein gültiges Modell gefunden wurde. Der Parametersatz dieses OLS-Modells wurde dann zur geographisch gewichteten Regression herangezogen.

Im Startmodell der OLS wurden 25 Kovariablen eingefügt. Der erste Durchlauf der OLS zeigte, dass zwar keine Cluster-Bildung vorlag, aber 20 Parameter einen zu hohen VIF-Wert aufwiesen (siehe Tabelle 5.6) und somit viele Parameter redundant waren. Folglich war dieses Modell nicht gültig.

Tabelle 5.5: Modelle A - E mit den dazugehörigen Kovariablen

	Modell A	Modell B	Modell C	Modell D	Modell E
KrautStrauchVegetation				×	
Nadelwald	×	×	×	×	×
Mischwald	×	×	×	×	×
Übernachtungszahl	×	×	×	×	×
NFK		×	×	×	
Feldhase	×		×	×	×
Fuchs	×	×	×	×	×
TemperaturmittelFrühling		×			
TemperaturmittelSommer	×				
TemperaturmittelWinter	×	×	×	×	×

Als nächster Schritt wurde nun versucht das bestmögliche, gültige OLS-

Modell herauszufinden. Dazu wurden verschiedene Kombinationen aus Parametern getestet und die Diagnosewerte der unterschiedlichen Modelle verglichen. Die Auswahl der Parameter erfolgte nach Gesichtspunkten des Indikatorensets (Abbildung 5.1). Nach der Prüfung unterschiedlicher Modelle auf Redundanz und Cluster-Bildung konnten fünf interessante, gültige Modelle herausgefiltert werden (Tabelle 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 und 5.11), die die Vorgabe einer OLS, dass keine Multikollinearität unter den Kovariablen vorliegt sowie die Residuen nicht räumlich autokorrelieren, erfüllen. Die Basisparameter in diesen fünf Modellen sind Nadelwald, Mischwald, Übernachtungszahlen, Feldhase, Fuchs und Temperaturmittel Winter. Darüber hinaus wurden andere Kombinationen von Kovariablen untersucht, die als geeignet angesehen wurden und der Gültigkeitsprüfung standhielten (Tabelle 5.5). Außerdem wurden Tests mit verschiedenen Modellen durchgeführt, bei denen der Ortenau-Kreis entfernt wurde, da er gegebenenfalls einen unzulässigen Ausreißer darstellt. Die Streichung des Ortenau-Kreises stellte sich als nicht zielführend heraus. Der Ortenau-Kreis ist der einzige Ausreißer hinsichtlich der FSME-Zahlen. Bei Betrachtung der Scatterplots mit und ohne Ortenau-Kreis konnte kein starker Einfluss auf die Ergebnisse festgestellt werden. Außerdem kann davon ausgegangen werden, dass es sich um gültige Datenwerte handelt und so von einer Streichung dieses Extremwertes abgesehen werden kann. Dennoch konnte durch das Einbeziehen und Entfernen des Ortenau-Kreises das OLS-Modell auf die Sensitivität hinsichtlich der Extremwerte getestet werden.

Bei dem Vergleich der fünf untersuchten Modelle fällt auf, dass die Modelle A, B und C vier und die Modelle D und E fünf signifikante Kovariablen² enthalten (Tabelle 5.7, 5.8, 5.9, 5.10 und 5.11). Bei allen fünf Modellen sind immer Laubwald, Mischwald, Fuchs und Feldhase signifikante Kovariablen. Die Kovariable Übernachtungszahl weist nur im Modell E eine signifikante Wahrscheinlichkeit auf und die restlichen Kovariablen NFK, Temperaturmittel Winter, Temperaturmittel Frühling sowie Kraut- und Strauch-Vegetation sind in keinem der Modelle signifikant.

Bei der Betrachtung der AIC-Werte ist zu erkennen, dass bei den Modellen A, B und E der AIC-Wert mit 214/215 auf einem gleichen Niveau liegen. Die Modelle C und D weisen mit 216 und 217 höhere AIC-Werte auf. Die Modelle

²Kovariablen deren Koeffizienten mit einer signifikanten Wahrscheinlichkeit ungleich Null sind und mit einem * markiert sind

Tabelle 5.6: Diagnostik-Werte des OLS-Startmodells mit allen Parametern

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	-26,457855	66,49821	-0,397873	0,695404	56,078611	-0,471799	0,64274	---
Einwohnerzahl	0,000004	0,000004	0,947464	0,35595	0,000003	1,269488	0,220437	3,49398
Fläche	369,988267	1407,74968	0,262822	0,795672	1215,65481	0,304353	0,76435	>1000
Kollin	-370,003041	1407,74933	-0,262833	0,795664	1215,65412	-0,304365	0,764341	>1000
Submontan	-369,995523	1407,74831	-0,262828	0,795668	1215,65155	-0,30436	0,764345	>1000
Paenemontan	-370,014959	1407,74508	-0,262842	0,795657	1215,65078	-0,304376	0,764333	>1000
Montan	-369,993414	1407,74879	-0,262826	0,795669	1215,65328	-0,304358	0,764346	>1000
Auenwald	-370,003905	1407,75808	-0,262832	0,795665	1215,66603	-0,304365	0,764341	>1000
Planar	-369,985594	1407,74789	-0,262821	0,795673	1215,65472	-0,304351	0,764352	>1000
KrautStrauchVegetation	0,051569	0,038264	1,347718	0,194469	0,04102	1,25716	0,224765	3,304966
Nadelwald	0,007344	0,0104	0,706105	0,489162	0,009818	0,747956	0,464147	28,159373
Laubwald	-0,00721	0,016224	-0,444368	0,662074	0,017283	-0,417149	0,681503	10,596107
Mischwald	0,015355	0,012002	1,279286	0,217043	0,009712	1,581062	0,131276	12,436743
Übernachtungszahl	0	0,000001	0,492512	0,628312	0,000001	0,493997	0,627284	3,608958
Niederschlag	0,125938	0,068828	1,829743	0,0839	0,068968	1,826035	0,084479	>1000
Sonnenscheindauer	-0,023606	0,01872	-1,26106	0,223389	0,012714	-1,856752	0,079788	6,592543
Trockenheitsindex	-2,424908	1,311027	-1,849625	0,080856	1,332104	-1,820359	0,085372	>1000
Temperatur	2,924474	1,162175	2,51638	0,021559*	0,839144	3,485069	0,002643*	>1000
NFK	0,002681	0,035432	0,075673	0,940512	0,030664	0,087438	0,931286	7,906523
Feldhase	0,008062	0,002011	3,837479	0,001207*	0,001578	5,10951	0,000073*	7,00238
Fuchs	0,002876	0,001566	1,836908	0,082792	0,001113	2,58504	0,018676*	35,261406
Rehwild	-0,000614	0,000939	-0,653492	0,5217	0,000574	-1,069492	0,298982	5,4643552
TemperaturmittelSommer	0,954713	0,597269	1,598465	0,127345	0,522315	1,827851	0,084195	50,63165
TemperaturmittelHerbst	-1,388685	1,048401	-1,324574	0,201886	0,897293	-1,547638	0,139112	>1000
TemperaturmittelWinter	-0,03368	0,050194	-0,671	0,51074	0,046475	-0,72469	0,477958	3,567493
TemperaturmittelFrühling	-2,847734	0,916042	-3,108736	0,006062*	0,861754	-3,304579	0,003942*	>1000
Number of Observations:		44	Number of Variables:			26		
Degrees of Freedom:		18	Akaike's Information Criterion (AIC):			191,179821		
Multiple R-Squared:		0,918815	Adjusted R-Squared:			0,806057		
Joint F-Statistic:		8,148584	Prob(>F), (25,18) degrees of freedom:			0,000014*		
Joint Wald Statistic:		1335,624810	Prob(>chi-squared), (25) degrees of freedom:			0,000000*		
Koenker (BP) Statistic:		20,085447	Prob(>chi-squared), (25) degrees of freedom:			0,742329		
Jarque-Bera Statistic:		0,890972	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:			0,640513		

Tabelle 5.7: Ergebnisse der OLS von Modell A

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	-17,003705	14,278518	-1,190859	0,241502	14,585425	-1,165801	0,251361	---
Nadelwald	0,012437	0,00509	2,443203	0,019594*	0,005177	2,402444	0,021570*	3,459878
Mischwald	0,020503	0,008247	2,48605	0,017697*	0,007224	2,838138	0,007412*	3,0111
Übernachtungszahl	0,000001	0,000001	1,801141	0,080062	0,000001	1,747125	0,089142	1,522689
Feldhase	0,007255	0,001746	4,155423	0,000190*	0,002503	2,898043	0,006357*	2,479861
Fuchs	-0,002206	0,0006	-3,674363	0,000770*	0,000466	-4,735402	0,000033*	2,658081
TemperaturmittelSommer	0,094327	0,07653	1,232555	0,225731	0,077338	1,219676	0,230518	4,24863
TemperaturmittelWinter	-0,084477	0,051361	-1,644749	0,108727	0,04558	-1,853374	0,072039	1,916978
Number of Observations:		44	Number of Variables:			8		
Degrees of Freedom:		36	Akaike's Information Criterion (AIC):			215,059268		
Multiple R-Squared:		0,683402	Adjusted R-Squared:			0,621841		
Joint F-Statistic:		11,101270	Prob(>F), (7,36) degrees of freedom:			0,000000*		
Joint Wald Statistic:		39,697502	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,000001*		
Koenker (BP) Statistic:		12,599511	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,082489		
Jarque-Bera Statistic:		0,001107	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:			0,999447		

Tabelle 5.8: Ergebnisse der OLS von Modell B

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	-8,292339	6,789901	-1,221275	0,22992	6,857408	-1,209253	0,234448	----
Nadelwald	0,012622	0,005025	2,511953	0,016632*	0,005006	2,521162	0,016268*	3,389924
Mischwald	0,020443	0,008121	2,517283	0,016421*	0,006961	2,936934	0,005749*	2,936019
Übernachtungszahl	0,000001	0,000001	1,776479	0,084106	0,000001	1,722865	0,093494	1,527324
Feldhase	0,007156	0,001754	4,079622	0,000238*	0,002497	2,865693	0,006908*	2,517223
Fuchs	-0,002157	0,000602	-3,585927	0,000989*	0,00047	-4,592985	0,000051*	2,683688
TemperaturmittelWinter	-0,08753	0,051536	-1,698431	0,098054	0,04549	-1,924171	0,062267	1,940761
TemperaturmittelFrühling	0,095641	0,072754	1,314577	0,196966	0,071739	1,333189	0,190845	4,332329
Number of Observations:		44	Number of Variables:				8	
Degrees of Freedom:		36	Akaike's Information Criterion (AIC) [2]:			214,814939		
Multiple R-Squared [2]:		0,685155	Adjusted R-Squared [2]:			0,623935		
Joint F-Statistic [3]:		11,191723	Prob(>F), (7,36) degrees of freedom:			0,000000*		
Joint Wald Statistic [4]:		40,337063	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,000001*		
Koenker (BP) Statistic [5]:		12,530994	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,084394		
Jarque-Bera Statistic [6]:		0,003093	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:			0,998455		

Tabelle 5.9: Ergebnisse der OLS von Modell C

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	-0,121782	3,152894	-0,038625	0,969403	3,016764	-0,040368	0,968023	----
Nadelwald	0,00847	0,004205	2,01421	0,051507	0,003866	2,190749	0,035029*	2,268786
Mischwald	0,017019	0,008407	2,024428	0,050395	0,007508	2,266731	0,029515*	3,006352
Übernachtungszahl	0,000001	0,000001	2,014059	0,051523	0,000001	2,026423	0,05018	1,506983
NFK	0,005227	0,023099	0,226293	0,822255	0,020287	0,257659	0,798138	1,656979
Feldhase	0,008159	0,001611	5,063812	0,000012*	0,002462	3,313307	0,002109*	2,029454
Fuchs	-0,002297	0,000654	-3,511165	0,001220*	0,000543	-4,231436	0,000152*	3,033819
TemperaturmittelWinter	-0,050726	0,044734	-1,133949	0,264311	0,037101	-1,367247	0,180024	1,397259
Number of Observations:		44	Number of Variables:				8	
Degrees of Freedom:		36	Akaike's Information Criterion (AIC):			216,815406		
Multiple R-Squared:		0,670510	Adjusted R-Squared:			0,606443		
Joint F-Statistic:		10,465699	Prob(>F), (7,36) degrees of freedom:			0,000000*		
Joint Wald Statistic:		34,391332	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,000015*		
Koenker (BP) Statistic:		14,490068	Prob(>chi-squared), (7) degrees of freedom:			0,043121*		
Jarque-Bera Statistic:		0,282347	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:			0,868339		

A, B und E bieten also unter Berücksichtigung der Modellkomplexität eine bessere Übereinstimmung mit den FSME-Inzidenzen.

Da jedoch alle AIC-Werte sehr nah beieinander liegen, wurde zur weiteren Begutachtung der Modelle auch der R^2 -Wert betrachtet. Es ist zu erkennen, dass die Modelle A, B, und E den höchsten R^2 -Wert mit 0,61 bzw. 0,62 aufweisen, also zu 61 bis 62 % Aufschluss über die FSME-Inzidenzen geben. Zusammenfassend erscheint Modell E durch die sehr guten Diagnosewerte am besten geeignet die FSME-Inzidenzen zu erklären. Daher wurde mit diesem Modell eine GWR durchgeführt (Abbildung 5.12). Diese zeigt, dass das

Tabelle 5.10: Ergebnisse der OLS von Modell D

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	-1,537803	3,516752	-0,437279	0,664595	3,718491	-0,413556	0,681722	---
KrautStrauchVegetation	0,035575	0,038781	0,917323	0,365252	0,034457	1,032426	0,308955	1,66606
Nadelwald	0,00751	0,004343	1,729287	0,092569	0,003698	2,030572	0,049951*	2,408834
Mischwald	0,017768	0,008465	2,099052	0,043095*	0,00786	2,260617	0,030109*	3,034604
Übernachtungszahl	0,000001	0,000001	2,15053	0,038502*	0,000001	2,218586	0,033098*	1,567304
NFK	0,014169	0,025119	0,564074	0,5763	0,024473	0,578956	0,566326	1,950737
Feldhase	0,007717	0,001685	4,578904	0,000056*	0,002514	3,068937	0,004133*	2,210437
Fuchs	-0,002338	0,000657	-3,55754	0,001098*	0,000534	-4,374903	0,000104*	3,047818
TemperaturmittelWinter	-0,059143	0,045762	-1,292408	0,204684	0,037327	-1,584437	0,122089	1,455791
Number of Observations:		44	Number of Variables:		9			
Degrees of Freedom:		35	Akaike's Information Criterion (AIC):		217,770059			
Multiple R-Squared:		0,678246	Adjusted R-Squared:		0,604702			
Joint F-Statistic:		9,222349	Prob(>F), (8,35) degrees of freedom:		0,000001*			
Joint Wald Statistic:		40,494270	Prob(>chi-squared), (8) degrees of freedom:		0,000003*			
Koenker (BP) Statistic:		16,346111	Prob(>chi-squared), (8) degrees of freedom:		0,037686*			
Jarque-Bera Statistic:		0,009779	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:		0,995122			

Tabelle 5.11: Ergebnisse der OLS von Modell E

Variable	Coefficient	StdError	t-Statistic	Probability	Robust_SE	Robust_t	Robust_Pr	VIF
Intercept	0,564514	0,850869	0,663456	0,511151	0,736397	0,766588	0,44819	---
Nadelwald	0,008009	0,003632	2,205227	0,033733*	0,003147	2,545183	0,015225*	1,737003
Mischwald	0,01622	0,007532	2,153572	0,037860*	0,005689	2,850906	0,007090*	2,476658
Übernachtungszahl	0,000001	0,000001	2,140069	0,039010*	0,000001	2,043838	0,048138*	1,437006
Feldhase	0,008207	0,001577	5,204735	0,000007*	0,002444	3,357313	0,001833*	1,994721
Fuchs	-0,002245	0,000604	-3,718271	0,000661*	0,000491	-4,570837	0,000052*	2,650749
TemperaturmittelWinter	-0,04765	0,042068	-1,132669	0,26464	0,03459	-1,377573	0,176611	1,268251
Number of Observations:		44	Number of Variables:		7			
Degrees of Freedom:		37	Akaike's Information Criterion (AIC):		214,877949			
Multiple R-Squared:		0,670042	Adjusted R-Squared:		0,616535			
Joint F-Statistic:		12,522563	Prob(>F), (6,37) degrees of freedom:		0,000000*			
Joint Wald Statistic:		33,422170	Prob(>chi-squared), (6) degrees of freedom:		0,000009*			
Koenker (BP) Statistic:		12,246295	Prob(>chi-squared), (6) degrees of freedom:		0,056694			
Jarque-Bera Statistic:		0,502769	Prob(>chi-squared), (2) degrees of freedom:		0,777723			

Modell E mit einem R^2 von 0,79 fast zu 80% die FSME-Inzidenzen erklären kann. Der AIC-Wert liegt bei 215 und ist daher gleichwertig dem der OLS.

Bei dem Vergleich der ResidualSquares³ des Modells E in der OLS und der GWR kann festgestellt werden, dass dieser für die Residuen der GWR mit 156 wesentlich niedriger ist als der der OLS mit 247. Auch die maximalen Beträge der Residuen sind in der GWR mit 4,8 deutlich niedriger als in der OLS (6,8) (Abbildung 5.6). Das lässt darauf schließen, dass die Abhängigkeit der FSME-Inzidenzen von den untersuchten Kovariablen durch das lokale

³Summe der Residuen im Quadrat

Tabelle 5.12: Diagnosewerte der GWR mit Modell E

Neighbours	44
ResidualSquares	156.25769495495456
EffectiveNumber	13.588835683805017
Sigma	2.2667529148053465
AICc	215.50993632635823
R^2	0.7917472806406294
R^2 Adjusted	0.7055401483696511

Regressionsmodell (GWR) besser abgebildet wird als durch eine globale Berechnung mittels OLS.

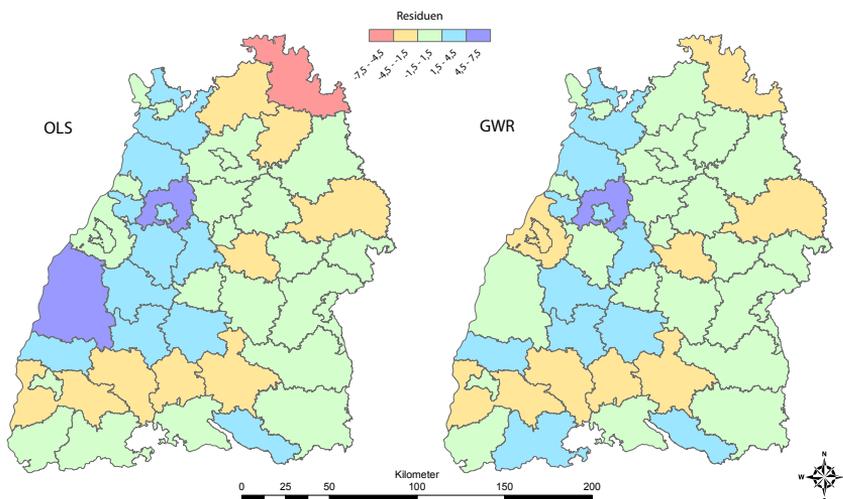


Abbildung 5.6: Residuen pro Landkreis der OLS und der GWR

Bei der Betrachtung der Koeffizienten der einzelnen Parameter konnte festgestellt werden, dass die Parameter Fuchs und Wintermitteltemperatur mit einem negativen Koeffizienten einen risikoreduzierenden Effekt auf das FSME-Risiko haben (Abbildung 5.7a und 5.12a). Wo hingegen die Parameter Übernachtungszahl, Feldhase, Nadelwald und Mischwald einen risikoe erhöhenden Effekt aufweisen (Abbildung 5.8a, 5.9a, 5.10a und 5.11a). Anhand der Multiplikation der Koeffizienten mit der jeweiligen Kovariable kann festge-

stellt werden wie stark diese Effekte sind. Dabei hat sich gezeigt, dass der größte positive Effekt auf das FSME-Risiko in einem Kreis von Feldhasen ausgeht. Je größer die Jagdstrecke der Feldhasen ist, desto größer ist das Risiko einer FSME-Infektion. Die gleichen, nur etwas schwächeren Effekte zeigen sich bei dem Mischwald, Nadelwald und den Übernachtungszahlen. Der größte negative Effekt ist beim Fuchs festzustellen. Hier sinkt bei einer größeren Jagdstrecke das Risiko mit FSME infiziert zu werden. Ein ebenfalls negativer Effekt gilt für die Mitteltemperatur im Winter.

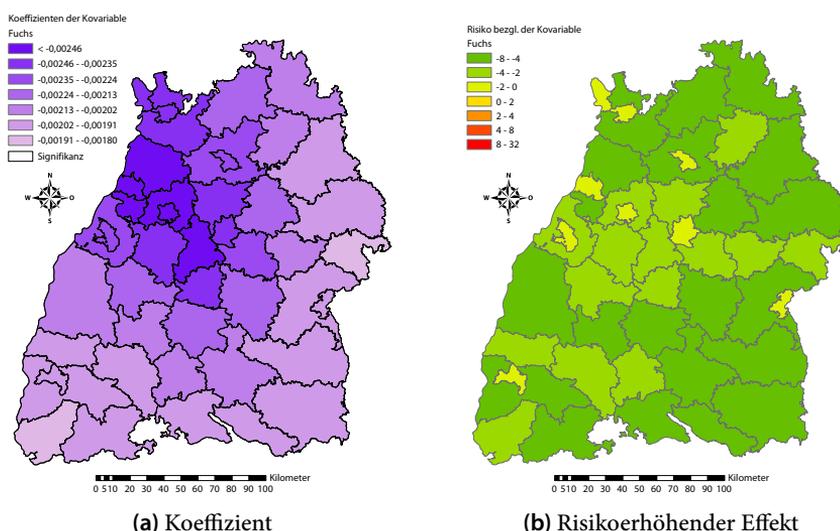


Abbildung 5.7: Anteil der Kovariable Fuchs am Modell E

Die räumliche Verteilung der Koeffizienten des Parameters Fuchs zeigen ein deutliches Maximum im Bereich der Kreise Pforzheim, Enzkreis und Karlsruhe (Abbildung 5.7a). Die Konzentration auf diese Kreise kann nach der Errechnung des Risikos nicht mehr festgestellt werden, es ergibt sich ein Muster das der Jagdstreckenverteilung sehr ähnlich ist und einen negativen Effekt zeigt (Abbildung 5.7b). Eine Signifikanz der Koeffizienten des Fuchses liegt für ganz Baden-Württemberg vor.

Die Koeffizienten des Nadelwaldes und des Mischwaldes zeigen im Nord-West-Bereich Baden-Württembergs deutlich erhöhte Werte. Diese Konzentration im Nord-Westen kann ebenfalls bei der Signifikanz der Koeffizienten

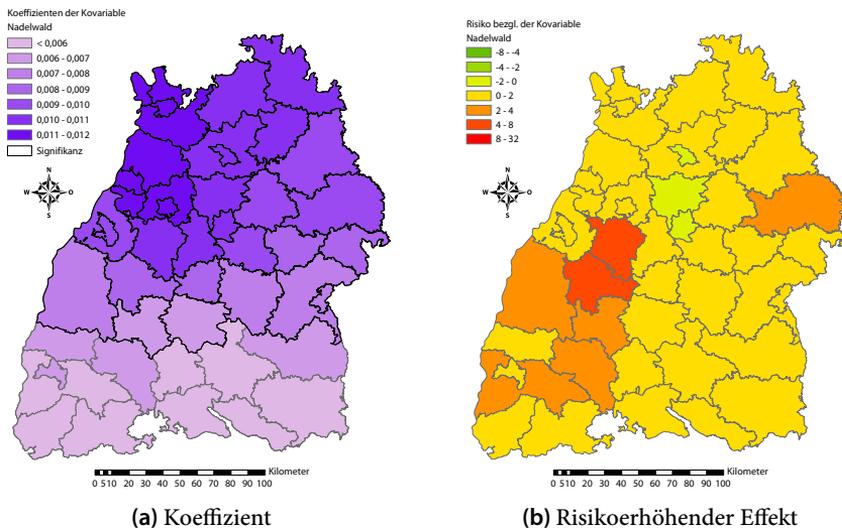


Abbildung 5.8: Anteil der Kovariable Nadelwald am Modell E

dieser beiden Waldtypen festgestellt werden (Abbildung 5.8a und 5.9a). Besonders die Landkreise Rhein-Neckar-Kreis, Mannheim (Universitätsstadt), Heidelberg (Stadt), Karlsruhe, Karlsruhe (Stadt), Rastatt, Baden-Baden (Stadt), Enzkreis und Pforzheim (Stadt) heben sich mit erhöhten Koeffizienten von den restlichen Kreisen ab. Das räumliche Muster, des daraus resultierenden Risikos, ändert sich jedoch für beide Parameter (Abbildung 5.8b und 5.9b). Bei der Kovariable Nadelwald sind es vor allem die Landkreise Calw und Freudenstadt die im Hinblick auf das Risiko herausstechen. Der Parameter Mischwald zeigt ein erhöhtes Risiko für die Kreise Schwäbisch Hall und den Ortenau-Kreis.

Bei den Übernachtungszahlen weist der Koeffizient sowie die Signifikanz ein deutliches West-Ost-Gefälle auf (Abbildung 5.10a). Bei der Betrachtung des Risikos ist jedoch zu sehen, dass das Risiko mit dem Wert 0 bis 2 gleichmäßig über Baden-Württemberg verteilt ist. Nur die Kreise Stuttgart, Breisgau-Hochschwarzwald, Ravensburg und Bodenseekreis zeigen mit 2 bis 4 ein erhöhtes Risiko (Abbildung 5.10b).

Die Koeffizienten des Parameters Feldhase zeigen deutlich erhöhte Werte im Süd-Westen Baden-Württembergs mit einer flächendeckenden Signifikanz

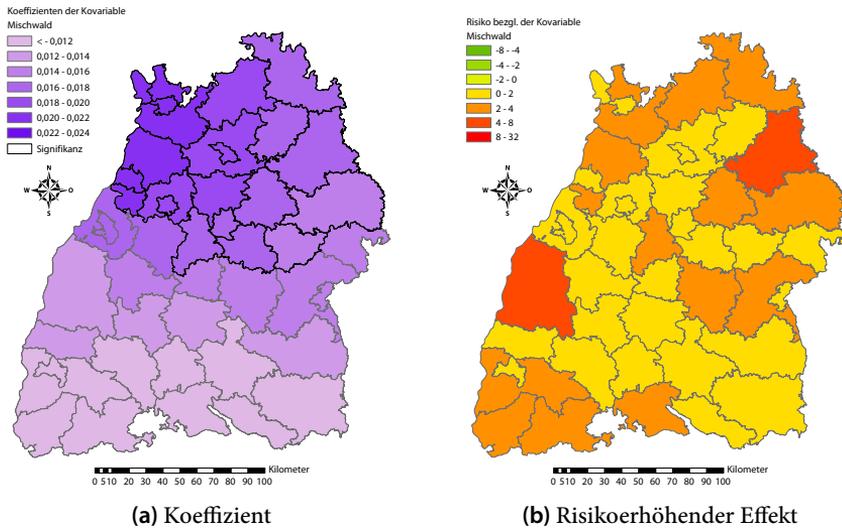


Abbildung 5.9: Anteil der Kovariable Mischwald am Modell E

(Abbildung 5.11a). Bei der Betrachtung des Risikos fällt jedoch auf, dass vor allem der Ortenaus-Kreis, der Main-Tauber-Kreis und der Rastatt-Kreis erhöhte Werte zeigen (Abbildung 5.11b). Auch die Koeffizienten der Kovariable Temperaturmittel im Winter zeigen ein deutliches Süd-West-Gefälle, jedoch besteht hier keine Signifikanz für Baden-Württemberg (Abbildung 5.12a). Bei dieser Kovariable kann für weite Teile Baden-Württembergs ein risikomindernder Effekt verzeichnet werden (Abbildung 5.12b).

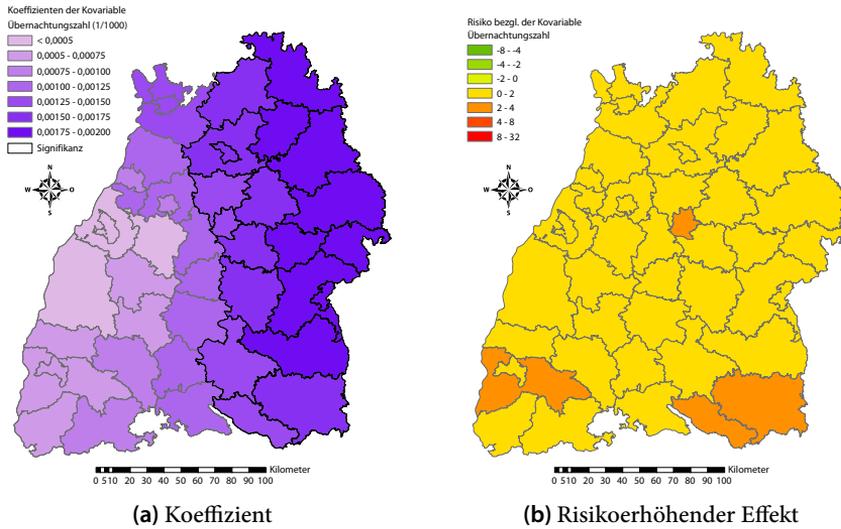


Abbildung 5.10: Anteil der Kovariable Übernachtungszahl am Modell E

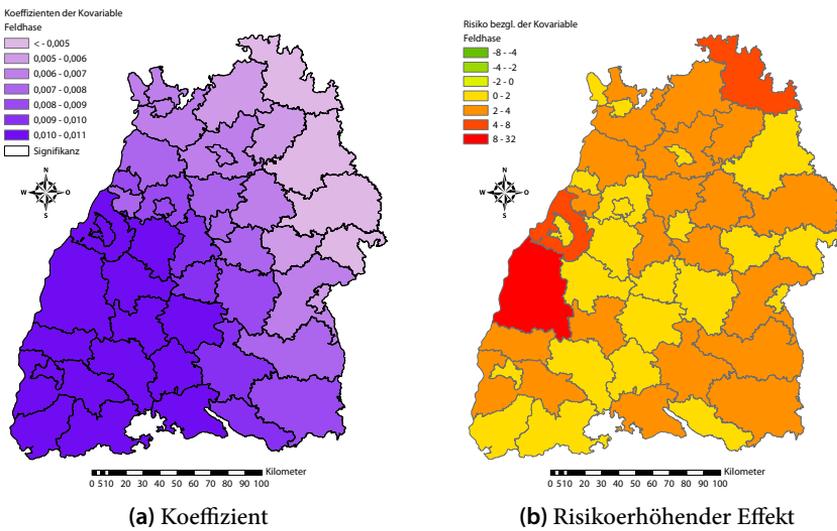


Abbildung 5.11: Anteil der Kovariable Feldhase am Modell E

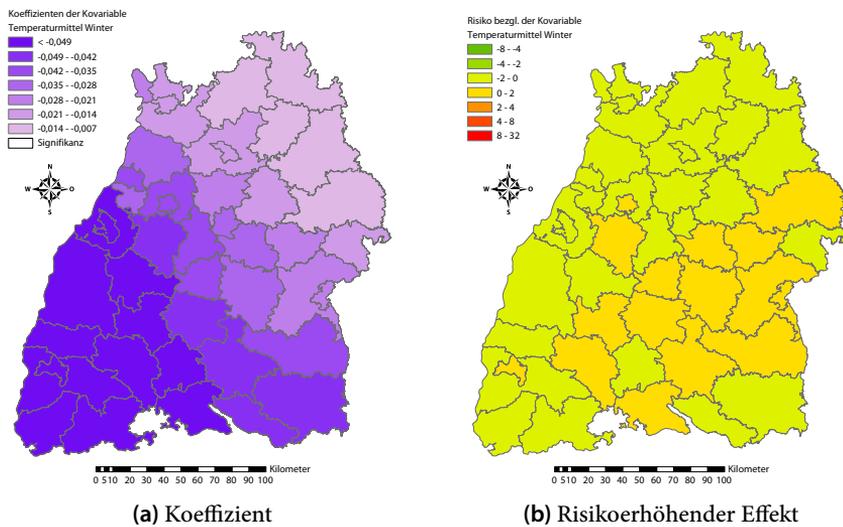


Abbildung 5.12: Anteil der Kovariable Temperaturmittel im Winter am Modell E

6 Diskussion

„Spatial analysis is the crux of GIS, the means of adding value to geographic data, and of turning data into useful information.“
Longley u. a. (2001)

Die vorliegende Dissertation hat räumliche Regressionsanalysen genutzt, um Aussagen über eine Verbindung zwischen der FSME-Ausbreitung in Baden-Württemberg und unterschiedlichen Umweltparametern zu treffen. Bislang wurden vergleichbare Studien zwar durchgeführt, jedoch weisen alle sehr unterschiedliche Schwerpunkte auf. Insbesondere wurden unterschiedliche Kovariablen ausgewählt sowie unterschiedliche Methoden angewendet (Tabelle 5.1). Die hier entwickelte Vorgehensweise kann als wichtiger Bestandteil zur Risikoabschätzung hinsichtlich der Ausbreitung von FSME genutzt werden. Zum ersten Mal wurde ein Zusammenhang zwischen der Zahl der Übernachtungen von Gästen in einem Beherbergungsbetrieb und dem Anstieg der FSME-Inzidenz verzeichnet.

Im Folgenden werden zunächst die Methoden der Arbeit diskutiert (Kapitel 6.1), um anschließend die Ergebnisse zu interpretieren und in den Kontext anderer vergleichbarer Studien zu stellen (Kapitel 6.2). Am Schluss werden die Fragestellungen der Arbeit aufgegriffen und die erarbeiteten Antworten im Hinblick auf Public Health und zukünftige Surveillance-Systeme diskutiert.

6.1 Methodendiskussion

6.1.1 Datensammlung und Datenverfügbarkeit

In der vorliegenden Arbeit wurde mit Hilfe einer literatur- und internet-basierten Recherche ein Indikatorenset erstellt, welches ein Instrument für ein Surveillance-System bezüglich der Ausbreitungsüberwachung von FSME darstellt. Wie bereits in Kapitel 4.2 beschrieben, existieren verschiedene Kanäle, um geeignetes Datenmaterial für eine GIS-gestützte Auswertung erhalten zu können. Zum einen gibt es öffentlich zugängliche Daten, die bereits

für eine Verarbeitung via GIS vorgesehen sind und nicht wesentlich angepasst werden müssen (z. B. Daten des DWD). Zum anderen existieren einige der gewünschten Daten zwar, aber weder öffentlich zugänglich noch in einem GIS kompatiblen Format (z. B. Wildtierdaten der Wildforschungsstelle Baden-Württemberg). Um eine einheitliche Infrastruktur für Geodaten in Deutschland zu schaffen wird seit 2007 das Portal GDI-DE¹ aufgebaut. Es werden die Voraussetzungen geschaffen, dass deutschlandweit Geodaten, die sonst nur den einzelnen Institutionen vorliegen, sowohl für die Fachwelt als auch für interessierte Bürger und Bürgerinnen zugänglich sind. Ziel ist es, alle verfügbaren Informationen, von Daten zu Koordinatenreferenzsystemen über umweltrelevante Daten bis hin zu gesundheitsrelevanten Daten, zu bündeln. Der Bund, die Länder und die Kommunen schaffen somit die Basis für die Umsetzung von INSPIRE², einer Initiative der europäischen Kommission, die das Ziel verfolgt eine europäische Geodaten-Basis mit integrierten raumbezogenen Informationsdiensten zu entwickeln.

Eine weitere Herausforderung in dieser Arbeit lag in der fehlenden Existenz von Daten bezüglich einiger gewünschter Umweltparameter. Über viele Parameter besteht nur eine grobe Schätzung zur Verbreitung (z. B. Vorkommen von Mausarten). Es besteht Bedarf an einem permanenten Umweltmonitoring mit einer effektiven Datensammlung hinsichtlich Erreger, Überträger, Wirt sowie Lebensraumparametern (Cromley, 2003). Hierbei stehen im wesentlichen zwei Möglichkeiten zu Verfügung, die Daten zu erzeugen. Zum einen können großräumige Daten verwendet werden, die via Fernerkundung erstellt werden und so eine globale, relativ schnelle und kostengünstige Auswertung gewährleisten. Zum anderen ermöglicht eine Sammlung von kleinräumigen Daten (z. B. das Sammeln von Zecken) eine genauere regionale Auswertung. Hier besteht jedoch die Gefahr, dass lokal schwankende Umweltbedingungen diese kleinräumigen Untersuchungen sehr stark beeinflussen und so ein verfälschtes Bild widerspiegeln. Es hängt stark von der Fragestellung und dem gewählten statistischen Modell ab welche Variante das bestmögliche Ergebnis liefert.

Bei epidemiologischen Daten besteht im Falle der Meldepflicht nach dem IfSG, wie sie bei FSME vorliegt, eine relativ genaue und flächendeckende Aussage über die Verbreitung und Entwicklung von Infektionskrankheiten. Das

¹Geodateninfrastruktur Deutschland

²Infrastructure for Spatial Information in the European Community

Portal SurvStat@RKI des RKI bietet eine individuelle Abfrage des vereinfachten Datenbestands, der nach Bedarf zu Tabellen oder Graphiken umgewandelt werden kann.

Besteht keine Meldepflicht für eine Infektionskrankheit bzw. andere Krankheiten, kann durch die Beobachtung der Aktivitäten im WorldWideWeb der endemische und epidemische Verlauf der Krankheitsausbreitung abgeschätzt werden. Diese neue Komponente einer modernen Krankheitsveillance ermöglicht es, durch die Nutzung von Informationen über das Internet-Suchverhalten der Bevölkerung, den Ausbruch einer Krankheit schneller abzuschätzen als mit den üblichen Meldeverfahren (Dugas u. a., 2012; Seifter u. a., 2010). Solche Informationen werden von den Suchmaschinenanbietern in Form von Protokolldateien gespeichert und können beispielsweise über GoogleTrends abgefragt werden.

Im Fall der Grippe konnte damit ein erster Erfolg hinsichtlich der Krankheitsüberwachung erzielt werden. Ein neuartiges internetbasiertes Influenza-Surveillance-System, das GFT³, schätzt mit Hilfe von Suchmaschinenanfragen die Influenza-Aktivität nahezu in Echtzeit ab (Ginsberg u. a., 2009). Diese Früherkennung von Krankheitsausbrüchen, gefolgt von einer raschen Reaktion seitens der Gesundheitsbehörden und Mediziner, kann die Ausbreitung einer saisonalen oder pandemischen Influenza verringern (Hulth u. Rydevik, 2011).

Eine solche internetbasierte Abfrage in GoogleTrends lässt sich auch für FSME gestalten. Es ist in Abbildung 6.1 gut zu erkennen, dass der jahreszeitliche Verlauf, der über die Jahre gemittelten Fallzahlen mit der Anfragehäufigkeit tendenziell übereinstimmt. Allerdings tritt der jährliche Peak der Suchmaschinenanfragen über FSME ca. vier Wochen vor dem jährlichen Maximum der FSME-Inzidenzen auf. Hier könnte zwar eine laufende Beobachtung der Prävalenz und eine frühzeitige Erkennung von Krankheitsausbrüchen möglich sein, jedoch erscheint u. a. aufgrund der geringen FSME-Fallzahlen die Gefahr groß, dass vor allem andere Einflussgrößen, wie z. B. die Berichterstattung oder Impfaufrufe abgebildet werden.

Diese vor allem für Krankheiten mit hoher Prävalenz und großer Streuung geeignete Methodik kann nur für Industrieländer angewendet werden und ist empfindlich gegenüber äußeren Einwirkungen, wie z. B. der Berichterstattung in den Medien (Carneiro u. Mylonakis, 2009). Dennoch stellt diese innovati-

³Google Flu Trends

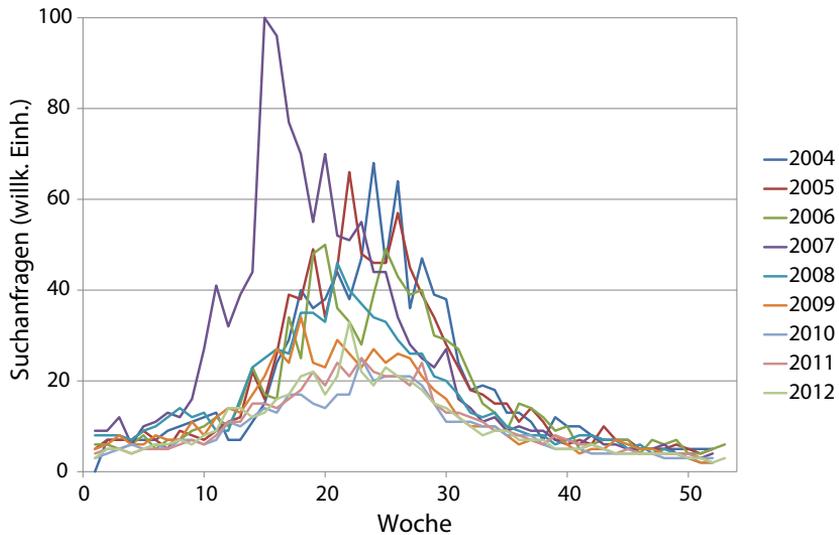


Abbildung 6.1: Wochenweiser Verlauf der Abfragehäufigkeit des Suchwortes „FSME“ in Google in den Jahren 2004 bis 2012.

ve Technologie ein neues Instrument zur Unterstützung der Überwachung, Prävention und Kontrolle auftretender Krankheiten dar.

6.1.2 Diskussion der räumlich statistischen Verfahren und ihrer gesundheitswissenschaftlichen Nutzbarkeit

Die in dieser Arbeit angewendeten Methoden werden der räumlichen Statistik zugeordnet und stellen ein wertvolles Instrument im Bereich Public Health dar. Unter Anwendung statistischer Verfahren können räumlich verteilte Variablen beschrieben und analysiert werden, um vor allem die geographische Variation von Krankheiten besser verstehen, Ursachen geographischer Muster besser bestimmen und Entscheidungen mit höherer Sicherheit treffen zu können. Hierbei kommen vor allem die Methoden der Autokorrelationsanalyse, Interpolation, Punktmusteranalyse sowie räumliche Korrelation und Regression zur Anwendung.

Diesen Methoden liegt zu Grunde, was bereits Tobler (1970) in seinem „First Law of Geography“ feststellte: „Everything is related to everything else, but near things are more related than distant things.“ Daher wurden

in dieser Arbeit Methoden zur räumlichen Regression (geoadditive Poisson-Regression und GWR) angewendet, um Aufschluss über den Zusammenhang zwischen unterschiedlichen Umweltparametern und der Verbreitung von FSME zu erhalten.

Tabelle 6.1: Gegenüberstellung der verwendeten statistischen Verfahren

Geoadditive Poisson-Regression	Geographisch gewichtete Regression (GWR)
Poisson-Verteilung der Zielvariable	Gauß-Verteilung der Zielvariable
generalisiertes additives Modell	klassisches lineares Modell
globales Modell	lokales Modell
auch nicht-lineare Zusammenhänge	nur lineare Zusammenhänge
mehrere Jahre berücksichtigt	Mittelung über die Jahre
räumliche Heterogenität als zusätzliche Kovariable	räumliche Heterogenität in den ermittelten Koeffizienten
Spezialsoftware (BayesX)	integriert in GIS (ArcView)

In klassischen linearen Modellen, wie dem der GWR zugrundeliegenden, werden nur lineare Abhängigkeiten der Zielvariablen von den Kovariablen modelliert, wohingegen in generalisierten additiven Modellen auch andere Zusammenhänge analysiert werden können. Für eine GWR müssen daher alle nichtlinearen Zusammenhänge zunächst linearisiert werden. Dazu muss jedoch der funktionale Zusammenhang bestimmt bzw. geeignete Polynome an die Datenpunkte angepasst werden. Dabei besteht immer die Schwierigkeit, geeignete Funktionen auszuwählen und die Nichtlinearität der Funktion zu erklären.

Die Methode der geoadditiven Poisson-Regression dagegen kann solche nichtlinearen Abhängigkeiten direkt durch glatte Funktionen anpassen und dann zur Modellierung verwenden. Um hierbei geeignete P-Splines ermitteln zu können, werden allerdings viele Datenpunkte benötigt, da sonst die Anpassung willkürlich wird. Daher konnten nur die Klimadaten, die für jedes Jahr vorlagen, durch solche nichtlinearen Funktionen angepasst werden. Wie man in Abbildung 5.3 sieht, ist diese Anpassung jedoch nicht allzu weit von einer linearen Anpassung entfernt, wenn auch der DIC die Modellgüte bei glatter Anpassung als besser bewertet.

Die verwendete geoadditve Poisson-Regression basiert auf einem globalen Ansatz, wobei räumliche Effekte durch Hinzunahme einer weiteren (als unstrukturiert räumlicher Effekt bezeichneten) Variable modelliert werden. Die Koeffizienten und glatten Funktionen werden also für jeden Ort gleichermaßen bestimmt und nur der unstrukturiert räumliche Effekt variiert von einem Ort zum nächsten, wobei Nachbarschaftsbeziehungen berücksichtigt werden. Der strukturiert räumliche Effekt kann also als eine fehlende Kovariable im Modell interpretiert werden, die dieses räumliche Muster aufweist.

Bei Verwendung der GWR zur Schätzung der risikoerhöhenden Effekte der Kovariablen erfolgt dagegen die Regression lokal auf Kreisebene. Die Koeffizienten werden quasi für jeden Kreis einzeln berechnet, mittels des adaptiven Kernels wird dabei die Nachbarschaft der Kreise berücksichtigt. Hierdurch werden lokale Besonderheiten und spezifische Wechselbeziehungen zwischen den Kovariablen mit in die Analyse einbezogen.

Bei solchen Modellen, die eine räumliche Analyse einschließen, werden im Vergleich zu einer einfachen Regression, wie der OLS, insbesondere spezifisch regionale Variationen aufgedeckt und es kann eine höhere Modellgüte erreicht werden. Insbesondere sind die zu erwartenden Residuen im allgemeinen geringer.

Für Fallzahlen ist insbesondere bei geringer Inzidenz von einer Poisson-Verteilung auszugehen (Fahrmeir u. a., 2007). Damit erscheint die ausgewählte Methode der geoadditiven Poisson-Regression geeignet, um die vorliegenden FSME-Fallzahlen zu modellieren. Da die Poisson-Verteilung für große Zahlen durch die Gauss-Verteilung angenähert werden kann (Brink, 2010), wurde die GWR, die in der in ArcView implementierten Version nur Gauß-verteilte Zufallszahlen modelliert, auf die über die Jahre gemittelten Fallzahlen angewendet. Auf die Verwendung von Spezialsoftware (z. B. SGWRWIN (GWR4.0), National Center for Geocomputation, National University of Ireland), mit der auch Poisson-verteilte Zufallszahlen mittels GWR geschätzt werden können, wurde in dieser Arbeit bewusst verzichtet, um die Möglichkeiten, die ein kommerzielles GIS bieten kann, auszuloten.

Ein GIS stellt eine sehr innovative und in der Entwicklung befindliche Technologie dar, die im Bereich Public Health, vor allem in den Themenfeldern Krankheitssurveillance und Risikoanalyse, angewendet wird (Nykiforuk u. Flaman, 2011). Zu den Kompetenzen eines GIS zählt nicht nur Daten zusammenzufassen, darzustellen und zu modifizieren, sondern auch innerhalb der gleichen Programmumgebung komplexe statistische Analysen durchzu-

führen und geeignete Modelle zur Präsentation aufzuarbeiten. Mullner u. a. (2004) heben sogar hervor, dass mit einem GIS Ergebnisse einer Analyse so präsentiert werden können, dass sie Beziehungen aufzeigen können, die mit anderen Technologien nicht hätten präsentiert werden können.

Jedoch wird bisher das große Potential von GIS nicht gänzlich ausgenutzt und der umfassende Einsatz in Public Health bleibt aufgrund großer Hindernisse noch aus (Shaw, 2012). Das mangelnde Verständnis der vielfältigen Möglichkeiten eines GIS sowie die Schwierigkeiten in der Interpretation der Ergebnisse bezüglich bestimmter Fragestellungen und Entscheidungen sind die großen Herausforderungen, die bisher zu einem eingeschränkten Einsatz von GIS in Public Health geführt haben. Darüber hinaus wurde auch in dieser Arbeit festgestellt, dass die Datenlage, die die Basis von GIS-Projekten bildet, einen großen limitierenden Faktor für eine präzise Situationsanalyse darstellt. Zum einen sind Mängel in der Datenverfügbarkeit sowie Einschränkungen aufgrund des Datenschutzes, vor allem auf individueller oder kleinräumiger Ebene, zu nennen (McLafferty, 2003). Zum anderen ist die Verwendung von GIS durch die ungleiche Datenbeschaffenheit sowie die unterschiedliche räumliche Auflösung der Daten limitiert.

Wie bereits in Kapitel 6.1.1 beschrieben, wurde die Beschaffung und Analyse der Daten durch die Heterogenität in Format, Speicherort und Auflösung erschwert. Insbesondere die Aggregationsstufe der FSME-Daten auf Kreisebene beschränkt die Analysen auf diese räumliche Auflösung.

Umfangreiche Daten wie diese können in räumlichen Analysen, die oft innerhalb eines GIS verankert sind, verarbeitet werden. Insbesondere ein kommerzielles GIS, wie ArcGIS, erleichtert nicht nur die Durchführung komplexer Aufgaben, sondern auch datenintensive Analysen, wie sie in Public Health vorkommen. Diese sehr komplexen und variabelreichen räumlichen Analysen sind notwendig, um das Verständnis der Beziehung zwischen Gesundheit und kontextualen Faktoren (wie z. B. ökonomische und ökologische Variablen) zu verbessern, so dass oft Daten auf Mikro-, Mittel- und Makro-Ebene integriert werden (Green u. a., 1996). Die Zusammenfassung komplexer statistischer Verfahren zu gut dokumentierten Programmtools ermöglicht die Anwendung auf unterschiedlichen professionellen Niveau, so dass die notwendige und stets geforderte Interdisziplinarität für viele Public Health-Studien leichter erfüllt werden kann.

Räumlich-statistische Analysen haben unterschiedliche Aufgaben zum Ziel. Im Bereich VBI können sie zum einen räumliche bzw. räumlich-zeitliche

Muster des Auftretens von Vektoren bzw. VBI-Fällen identifizieren. Zum anderen verbessern sie aber auch das Verständnis, wie Umweltfaktoren Vektoren sowie die Übertragung von VBI beeinflussen. Darüber hinaus ist es möglich, Vorhersagen hinsichtlich der Änderung des räumlichen Expositionsrisikos für Vektoren und vektorbasierte Erreger in Abhängigkeit der Änderung von Landnutzung oder Klima zu treffen (Eisen u. Eisen, 2011).

Das Ziel hierbei ist es, die Krankheitslast zu reduzieren, indem Informationen generiert werden, um die Gesellschaft zu befähigen, Präventionsmaßnahmen zu ergreifen. Außerdem werden Gesundheitsbehörden unterstützt Präventionsmaßnahmen sowie Überwachungs- und Kontrollsysteme zu etablieren.

6.2 Interpretation und Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Diskussion der FSME-Inzidenz

In der vorliegenden Arbeit wurden für die statistische Auswertung die FSME-Fallzahlen des RKI verwendet (Kapitel 4.2.2). Diese Daten basieren auf FSME-Fällen, die im Rahmen der Meldepflicht von Gesundheitsbehörden und Ärzten an das RKI übermittelt wurden. Bei der Betrachtung der FSME-Inzidenzen der letzten Jahre (Abbildung 3.2) ist zu erkennen, dass die Anzahl der Neuerkrankungen tendenziell zurückgegangen ist.

Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, dass hier das wirkliche Infektionsrisiko der Bevölkerung innerhalb eines Landkreises abgebildet wird. Auf der einen Seite kann das Infektionsrisiko in einem Kreis unterschätzt werden, wenn infizierte Besucher an ihren Wohnort zurückkehren und die Infektionen dort gemeldet werden. So wurde bei 11,7% der gemeldeten FSME-Fälle im Jahr 2011 der Wohnort nicht als Infektionsort angegeben (RKI, 2012). Auf der anderen Seite wird nach dem IfSG nur der Kreis als Infektionsort übermittelt, so dass es nicht möglich ist, kleinräumigere Gebiete bezüglich des FSME-Risikos zu betrachten (RKI, 2012). Angaben zum Infektionsort als räumliche Koordinate wären jedoch im Hinblick auf die Größe der FSME-Herde von Vorteil, da diese sehr kleinräumig sein können und, auch bei einer niedrigen Inzidenz im Kreis, das Infektionsrisiko in solch lokalen Gebieten recht hoch sein kann. Bei Kenntnis der räumlichen Koordinaten könnte die Inzidenz der FSME-Infektionen als räumlich statistischer Punktprozess (Benes u. Rataj, 2004) untersucht werden, um Kovariablen, die in höherer

Auflösung als auf Kreisebene vorliegen, berücksichtigen zu können.

Eine weitere Herausforderung bei der Verwendung von FSME-Inzidenzen zur Risikoeinstufung von Gebieten stellt die vermehrte Grundimmunisierung der Bevölkerung dar. Im Jahr 2011 waren in Baden-Württemberg 34,2% der Kinder bei der Schuleingangsuntersuchung und 28,7% der Allgemeinbevölkerung durch drei Impfungen vollständig immunisiert. Bei Betrachtung der Impfquoten pro Kreis im Vergleich zu den FSME-Inzidenzen kann festgestellt werden, dass eine höhere Impfquote die FSME-Inzidenzen des Kreises sinken lässt. Eine zunehmende Impfquote würde jedoch dazu führen, dass Infektionsrisiken, die auf Basis einer FSME-Surveillance ermittelt werden, nicht richtig eingeschätzt werden können. Zwar scheint zum jetzigen Zeitpunkt eine Risikoabschätzung auf Basis übermittelter FSME-Erkrankungen eine akzeptable Vorgehensweise, dennoch sollten andere Alternativen zur Risikoabschätzung gefunden werden, ohne dabei nur auf FSME-Zahlen angewiesen zu sein. Zum einen könnte das Infektionsrisiko unter Einbezug der kreisbezogenen Impfquote errechnet werden. Zum anderen sollte, wie in dieser Arbeit geschehen, die Untersuchung von Umweltparametern, die es ermöglichen eine Risikoabschätzung durchzuführen, ausgeweitet werden.

Im Gegensatz zu der in dieser Arbeit angewendeten, großräumigen Analyse der FSME-Daten und Umweltparameter, besteht oft der Wunsch nach der Evaluation absoluter Zeckenzahlen in kleinräumigen Gebieten in Kombination mit der Aufklärung der Durchseuchungsrate der Zecken mit FSME. Hier besteht allerdings das Problem, dass durch das standardisierte Fangverfahren, die sogenannte Fahnen-Methode⁴, nur Zecken mit exophilem Verhalten⁵, wie es *Ixodes ricinus* aufweist (Eckert u. a., 2008), gesammelt werden. Die Igelzecke *Ixodes hexagonus* stellt zwar einen potentiellen FSME-Überträger dar, wird jedoch durch die Fahnen-Methode nicht gesammelt, da es sich um eine endophile Art⁶ handelt.

Ein weiterer Aspekt in der Betrachtung der absoluten Zeckenzahlen im Hinblick auf die Durchseuchungsrate stellt die von der FSME-Infektion abhängige Aktivität der Zecken dar. Zecken, die bereits mit FSME infiziert sind, zeigen eine wesentlich höhere Aktivität und sind somit vermehrt auf Wir-

⁴Mittels Einsatz von Schlepptüchern werden Zecken von der Vegetation abgestreift

⁵Aufenthaltort im offenen Gelände entfernt von z. B. Nestern oder Tierhöhlen; aktive Wirtssuche notwendig (Salman u. Tarrés-Call, 2013)

⁶Leben in der Nähe ihrer Wirte z. B. in Tierhöhlen oder Nestern; Wirt in ständiger Verfügbarkeit (Salman u. Tarrés-Call, 2013)

ten und weniger in der Vegetation zu finden. Zudem lässt sich der FSMEV, durch eine erhöhte Virusvermehrung während der Blutmahlzeit, bei Zecken auf einem Wirt leichter nachweisen, als bei in der Vegetation gesammelten Zecken (Belova u. a., 2012; Süß u. a., 2004), so dass die Bestimmung der Durchseuchungsrate von gesammelten Zecken eine erhöhte Unsicherheit aufweist.

Diese sehr unterschiedlichen Gesichtspunkte können zu einer Fehleinschätzung der absoluten Zeckenzahlen und der Durchseuchungsrate führen. Somit sollte die Genauigkeit dieses finanziell und personell aufwendigen Verfahrens nicht überbewertet werden.

Für Public Health jedoch ist umfangreiches Wissen, sowohl über die Durchseuchungsrate, als auch die FSME-Prävalenz essentiell, so dass ggf. eine Kombination verschiedener Methoden bei der Betrachtung möglicher Fehlerquellen potentiell einen Weg zur Abschätzung des örtlichen Risikos darstellt.

6.2.2 Diskussion der räumlichen Effekte

Der räumliche Effekt im geoadditiven Poisson-Regressions-Modell dient als Surrogat für unbeobachtete Einflussgrößen, die bisher nicht in das Modell integriert wurden (Fahrmeir u. a., 2007). Die Ergebnisse der geoadditiven Poisson-Regression zeigen bezüglich des unstrukturiert räumlichen Effektes (Abbildung 5.4b) keine auf dem 5%-Niveau signifikanten Effekte. Darüber hinaus sind diese zusätzlichen kreisspezifischen Abweichungen ohne Berücksichtigung einer Nachbarschaftsstruktur in allen Kreisen sehr klein, so dass, in Verbindung mit der fehlenden Signifikanz, der zufällige Effekt, der in dem Modell fehlenden Kovariable, vernachlässigbar ist.

Die Betrachtung des strukturiert räumlichen Effekts (Abbildung 5.4a) zeigt für den Süd-Westen Baden-Württembergs ein signifikant erhöhtes FSME-Risiko und für den Nord-Osten Baden-Württembergs ein signifikant reduzierendes. Eine sorgfältige Analyse der Effekte könnte Hinweise darauf geben, wie die fehlenden Kovariablen, die bisher nicht in Erwägung gezogen wurden, aussehen könnten (Fahrmeir u. a., 2007).

Im Fall der hier vorliegenden strukturiert räumlichen Effekte kann davon ausgegangen werden, dass die fehlende Kovariable bzw. die fehlenden Kovariablen ebenfalls ein solches Süd-West Nord-Ost Gefälle aufweisen werden. Es kann sich um eine Kovariable handeln, die einen risikoerhöhenden Effekt mit der Tendenz einer Steigerung in Richtung Süd-West zeigt. Oder aber eine

Kovariable, die einen hohen Risiko-reduzierenden Effekt im Nord-Osten Baden-Württembergs aufweist und in Richtung Süd-Westen abnimmt. Es ist auch möglich, dass die Addition mehrerer fehlender Kovariablen ein solches räumliches Muster erzeugen würden und so den strukturiert räumliche Effekt ersetzt könnten. Damit könnten die Zusammenhänge bezüglich der FSME-Ausbreitung in Baden-Württemberg besser erklärt werden und so zu einer genaueren Risikoabschätzung beitragen.

Bei diesen nicht betrachteten Kovariablen könnte es sich z. B. um die Mausarten *Myodes glareolus* und *Apodemus flavicollis* handeln, die bereits in andere Studien (Kiffner u. a., 2011; Süß, 2011) als ein wesentlicher Einflussfaktor identifiziert werden konnten. Jedoch konnten diese vermutlich wichtigen Parameter im FSME-*Ixodes ricinus*-Zyklus, aufgrund mangelnder Datengrundlage, in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden. Die Aufnahme kleinräumig ermittelter Mäusepopulationen würde das Modell zur FSME-Abschätzung wesentlich optimieren und sollte, wie bereits in Bayern durchgeführt, auch in Baden-Württemberg in Angriff genommen werden. Die räumlichen Effekte im GWR-Modell werden durch die räumlich variablen Koeffizienten (Kapitel 5.3) aufgefangen. Dabei sind insbesondere Effekte, die durch das Zusammenspiel der verschiedenen Kovariablen in den einzelnen Kreisen hervorgerufen werden zu berücksichtigen, aber auch die nicht im Modell enthaltenen, unbekanntes Kovariablen werden, zumindest teilweise, durch die Koeffizienten abgebildet. In diesem Modell kann jedoch nicht auf die räumliche Verteilung möglicher fehlender Kovariablen geschlossen werden, da die Koeffizienten nur die lokale Wirkung der Kovariable widerspiegeln.

In beiden Modellen kann aus der räumlichen Struktur der Ergebnisse keine Vorhersage für weitere Kreise etwa in angrenzenden Bundesländern getroffen werden, da die gewählte Methodik eine solche ebenso wenig zulässt wie eine zeitliche Vorhersage im Sinne einer Zeitreihenanalyse. Vorhersagen anhand der erhaltenen Modelle können nur mit dem tatsächlichen Auftreten der FSME-Fälle verglichen werden um so die Schätzgenauigkeit der Effekte zu validieren. Hierzu wurden die Residuen, also die Differenz zwischen der Vorhersage und dem tatsächlichen Auftreten, untersucht (siehe dazu Abbildung 5.5 und 5.6). Dabei konnte keine systematische Abweichung beobachtet werden, so dass der geschätzte Effekt der Kovariablen auf die Fallzahlen innerhalb der Modelle gut beschrieben wird.

6.2.3 Diskussion der Einflussgrößen

Ein großer Vorteil der vorliegenden Studie ist die kostengünstige und zeit-schonende Einbindung von bereits im Vorfeld in anderen Zusammenhängen erstellten Umweltdaten (Tabelle 5.1). So können allerdings nicht alle interessanten Parameter untersucht werden, so dass eine Verzerrung der Ergebnisse möglich ist.

Die gesammelten Daten können in drei Kategorien zusammengefasst werden. Die erste Kategorie umfasst die Daten, die aufgrund mangelnder Qualität und Quantität nicht in die Auswertungen eingeschlossen werden konnten. Dabei handelte es sich um Trockenheitsindex, relative Luftfeuchte, Erholungsflächen, Ausbildungsniveau, Einkommen, Mäuse-, Vögel- und Pferdeverbreitung, Streu- und Humusschicht sowie Verteilung von sauren und humiden Böden. Zur zweiten Kategorie zählen die Daten, die zwar in ausreichender Qualität und Quantität vorlagen, jedoch zugunsten der Modellqualität nicht in die Endmodellen einfließen. In den Fällen der Höhenstufen (Planar, Kollin, Paenemontan), sowie den Kovariablen NFK und Sonnenscheindauer scheint die Abhängigkeit zur Zielvariable zu gering, so dass diese keinen Effekt auf die Modellgüte zeigen. Bezüglich des Rehwilds wurde in der GWR festgestellt, dass hier eine zu starke Korrelation zu einem anderen Parameter vorliegt und daher Modelle, die den Parameter Rehwild enthielten, schlechter bewertet wurden als das Endmodell (Abbildung 5.11). In der geoadditiven Poisson-Regression wurden einige dieser Daten nicht verwendet, da sie zum Zeitpunkt der Analyse noch nicht vorlagen.

Insgesamt konnten dennoch 12 Umweltparameter (Submontan, Montan, Auenwald, Kraut- und Strauchschicht, Laubwald, Nadelwald, Mischwald, Übernachtungen, Feldhase, Fuchs, Temperatur, Niederschlag) in zumindest einem der beiden statistischen Auswertungsverfahren berücksichtigt werden. Diese Daten lagen z. T. nicht in verwendbarer Form vor und mussten entsprechend angepasst werden. Diese Anpassung bestand teilweise in einer Generalisierung der Daten bezüglich der Kreise, da eine kreisbezogene Auswertung Ziel der Studie war.

6.2.3.1 Nadel, Laub- und Mischwald

Die Eingrenzung, Zusammenfassung und Mittelung der Nadel-, Laub- und Mischwalddaten ergab eine auswertungsstarke Basis für die statistischen

Verfahren. Diese Einflussgrößen konnten so in beiden Auswertungsmethoden berücksichtigt werden und haben sich als wichtige Parameter erwiesen.

Die Ergebnisse der Poisson-Regression haben ergeben, dass der Nadelwald sowie der Laubwald keinen auf dem 5%-Niveau signifikanten Einfluss auf das FSME-Risiko haben. Der, in der Poisson-Regression nicht untersuchte, Mischwald und der Nadelwald zeigen hingegen in der GWR einen risikoerhöhenden Effekt. Anhand der Multiplikation der Koeffizienten mit der jeweiligen Kovariable konnte festgestellt werden wie stark dieser Effekt ist. Im Fall des Mischwaldes und des Nadelwaldes ist, der Effekt im Vergleich zum Feldhasen, insgesamt schwächer.

Auch in anderen Feldstudien konnten keine eindeutigen Tendenzen bezüglich des FSME-Risikos im Hinblick auf Waldtypen festgestellt werden. Es wird zwar angenommen, dass Laubwälder, z. B. durch entsprechendes Unterholz und die Laubschicht, eher einen passenden Lebensraum für *Ixodes ricinus* darstellen als Nadelwälder (Ginsberg u. a., 2004; Tack u. a., 2012a). Dennoch zeigen einige Studien, dass auch Nadelwälder (Kiffner u. a., 2010; Walker u. a., 2001) und Mischwälder (Estrada-Peña, 2001) einen positiven Effekt auf die Verbreitung von *Ixodes ricinus* haben können.

Es ist allerdings unwahrscheinlich, dass Waldtypen einen direkten Einfluss auf die Zeckendichte haben. Der Waldtyp hat jedoch zum einen einen enormen Einfluss auf die Verfügbarkeit und Konzentration der Wirtstiere, der Laubwald z. B. ist ein bevorzugtes Habitat für Rehe (Tack u. a., 2012a). Zum anderen unterscheiden sich die Waldtypen in der Feuchtigkeit und Beschaffenheit des Bodens, welches ebenfalls einen enormen Einfluss auf die Aufrechterhaltung des FSME-Zyklus hat. Generell scheinen Waldabschnitte, vor allem mit einem großen Anteil an Waldrändern (Tack u. a., 2012b) einen besseren Lebensraum für *Ixodes ricinus* darzustellen, als offene Habitat wie z. B. Wiesen, da diese einen besseren Schutz vor Umwelteinflüssen bieten (Lindström u. Jaenson, 2003).

Die räumliche Verteilung des risikoerhöhenden Effekts zeigt, dass der Nadelwald, insbesondere im Bereich des Schwarzwaldes, deutlich zur Erhöhung des Infektionsrisiko beiträgt, da alle Werte in der Risikokarte positiv sind (Abbildung 5.8). Ein höheres Nadelwaldvorkommen in einem Kreis bedeutet nicht automatisch ein höheres Risiko, im Vergleich zu einem nadelwaldärmeren Kreis, da der Koeffizienten eine lokale Variation aufweist. Jedoch erhöht sich das FSME-Risiko in einem Kreis für den Fall, das sich in dem Kreis auch das Nadelwaldvorkommen erhöht.

6.2.3.2 Kraut- und Strauchschicht

In beiden statistischen Modellen konnte für den Vegetationsparameter Kraut- und Strauchschicht kein auf dem 5%-Niveau signifikanter Einfluss auf das FSME-Risiko festgestellt werden. Allerdings sind die ermittelten Gesamtflächen in den Kreisen sehr klein, so dass aus der fehlenden Signifikanz nicht zwangsläufig geschlossen werden kann, dass die Kraut- und Strauchschicht keinen Einfluss auf das FSME-Risiko hat.

Viele Studien bestätigen zudem die Bedeutung der Kraut- und Strauchschicht als Habitat für *Ixodes ricinus* (Boyard u. a., 2008; Estrada-Peña, 2001; Tack u. a., 2012b). Der Grund liegt darin, dass in diesem Vegetationsbereich, typisch im Übergang zwischen Wald und Wiese, eine Vielzahl der Wirtstiere von *Ixodes ricinus* leben (Boyard u. a., 2008). Auch stark unterteilte Wälder mit einem hohen Waldrandanteil und somit vermehrter Kraut- und Strauchschicht scheinen ein bevorzugtes Habitat für *Ixodes ricinus* zu sein (Kiffner u. a., 2010; Tack u. a., 2012b). Solche Bereiche stellen optimale Umweltbedingungen für *Ixodes ricinus* dar und bieten eine hohe Dichte und Aktivität der Hauptwirte von *Ixodes ricinus* (Tack u. a., 2012b).

Eine Möglichkeit die Kraut- und Strauchschicht in eine Analyse zu integrieren besteht, insbesondere in einer kleinräumigen Studie, die lokale Konditionen sowie Zeckenzählraten berücksichtigt. Zum anderen könnte eine großräumige Studie durchgeführt werden, die, auf Basis einer großen Zahl von FSME-Inzidenzen, Abhängigkeiten zu anderen Kovariablen in dem größeren Untersuchungsgebiet feststellen könnte.

6.2.3.3 Klima

Die Klimadaten lagen in einem sehr kleinräumigen Format vor und liefern so vertrauenswürdige Ergebnisse. Es wurden aus den gelieferten Klimadaten drei unterschiedliche Datensätze erzeugt. Ein Datensatz mit der Jahresmitteltemperatur, ein Datensatz mit der Vorjahresmitteltemperatur für die Poisson-Regression und ein Datensatz mit der Vorjahrestemperatur des Winters für die GWR.

Bezüglich der Mitteltemperatur des jeweiligen Jahres hat die geoadditve Poisson-Regression ergeben, dass hier ein auf dem 5% Niveau signifikanter positiver Einfluss auf das FSME-Risiko vorliegt. Im Fall einer Steigerung der Temperatur um 1 °C in einem Kreis, würde sich hiernach das FSME-Risiko

im jeweiligen Jahr, bei Stabilität aller anderen modellierten Kovariablen, um den Faktor 2,79 vervielfachen. Auch Jaenson u. Lindgren (2011); Li u. a. (2012); Lindgren u. Gustafson (2001); Randolph u. Sumilo (2007) und Randolph u. a. (2000) haben eine solche positive Korrelation zwischen dem Auftreten von *Ixodes ricinus* und der Erwärmung des Klimas feststellen können.

Eine generelle Erwärmung des Klimas, wie sie z. B. von Blunden u. a. (2011) vorhergesagt wird, führt zu einer Vielzahl von direkten und indirekten Veränderungen im Habitat von *Ixodes ricinus*. Mit dem Anstieg der Jahresmitteltemperatur geht ein früher Start der Vegetationsperiode sowie der Suchaktivität von *Ixodes ricinus* einher. Die Aktivitätsgrenze der Zecken von 5 °C wird immer früher im Jahr über- und immer später im Jahr unterschritten (Jaenson u. Lindgren, 2011). Folglich werden in Mitteleuropa und im Baltikum immer früher im Jahr Larven von *Ixodes ricinus* aktiv, so dass es zu einer starken saisonalen Synchronität von Larven und Nymphen kommt (Randolph u. a., 2000). Eine große Anzahl Larven und Nymphen sind im Frühling dann gleichzeitig auf Wirtssuche und können durch das Cofeeding den FSMEV optimal im Natur-Herd von *Ixodes ricinus* verbreiten. Darüber hinaus würde eine Erwärmung des Klimas aktuelle Zeckenpopulationen in nördlichen Temperaturzonen unterstützen, da in diesen Bereichen der Wasserstress für die Zecken gering ist und die Entwicklungszyklen optimiert würden (Estrada-Peña u. a., 2012).

Ein weiterer Aspekt im Hinblick auf die positive Korrelation zwischen der Jahresmitteltemperatur und dem FSME-Risiko ist die Veränderung des menschlichen Verhaltens. Auf der einen Seite werden Landnutzung und Tourismus über einen längeren Zeitraum verändert, welches wiederum einen Einfluss auf das Auftreten von Zecken bzw. die FSME-Inzidenz hat. Auf der anderen Seite können kurzfristige Änderungen der Temperatur direkt das Verhalten der Bevölkerung beeinflussen, so dass möglicherweise ein Zusammenhang zwischen Freizeitverhalten, wie wandern, jagen, Beeren bzw. Pilze pflücken und erhöhter FSME-Inzidenz besteht (Salman u. Tarrés-Call, 2013).

Das Klima hat viele direkte und indirekte Einflüsse. In Bezug auf die Temperatur des Vorjahres hat diese Studie ergeben, dass die Vorjahresmitteltemperatur und die Vorjahrestemperatur im Winter jeweils einen negativen Einfluss auf das FSME-Risiko haben. Es scheint im Gegensatz zu bislang erlangten Kenntnissen zu stehen, dass bei einer niedrigen Wintertemperatur des Vorjahres das FSME-Risiko im Folgejahr erhöht ist. *Ixodes ricinus* stellt jedoch

einen sehr empfindlichen Organismus gegenüber Umweltbedingungen, wie z. B. Temperatur dar, der die Aktivität und die Entwicklung während der kalten Wintermonate reduziert und in eine Kältestarre fällt. Fallen die Wintertemperaturen, zusammen mit der Bildung einer Schneedecke, sehr stark, bildet die Schneedecke einen Schutz für *Ixodes ricinus* (Sumilo u. a., 2007) sowie für die, vor allem kleinen Wirtstiere (Jaenson u. Lindgren, 2011) gegen die sehr niedrigen Wintertemperaturen. Die Zecken können trotz sehr niedriger Wintertemperaturen überleben und finden zudem nach dem Winter ausreichend viele Wirtstiere.

Bei Betrachtung des risikoerhöhenden Effekts des Temperaturmittels im Winter Abbildung 5.12 ist zu erkennen, dass hier von einem sehr geringen Effekt auszugehen ist. Im Bereich der schwäbischen Alb ist dieser Effekt der Wintertemperatur risikoerhöhend, im restlichen Baden-Württemberg kann von einem risikomindernden Effekt ausgegangen werden. Der Vergleich mit der tatsächlichen Verteilung der Wintertemperatur in Baden-Württemberg (Abbildung 4.2) zeigt, dass Temperaturen unter 0 °C tendenziell einen risikoerhöhenden Effekt haben. Dies ist ein weiteres Indiz, dass eine Schneedecke, die sich bei Frosttemperaturen ausbilden kann, einen gewissen Schutz für Zecken und ihre Wirtstiere bietet.

Neben Temperatur ist auch Niederschlag ein Klimaparameter der einen Einfluss auf die Verbreitung von *Ixodes ricinus* haben kann. Zwei Aspekte spielen hierbei für *Ixodes ricinus* eine Rolle: Regen, der vor allem im Sommer die Zecken vor dem Austrocknen bewahrt, sowie Schnee (bzw. Schneedecke) der *Ixodes ricinus* während der Diapause vor zu niedrigen Temperaturen am Boden schützt.

Zudem wirkt sich Niederschlag auf den nichtparasitären Teil des Lebenszyklus von *Ixodes ricinus* aus, da das Überleben und die Wirtssuchaktivität der Zecke vermindert wird (Estrada-Peña u. a., 2012). Aber auch der parasitäre Teil wird beeinflusst, da sich Änderungen des Niederschlags auf das Wirtsvorkommen auswirken (Jaenson u. Lindgren, 2011).

Die Ergebnisse der Poisson-Regression zeigen, dass sich bei erhöhtem Niederschlag im aktuellen Jahr sowie im Vorjahr das FSME-Risiko verringert. Der Effekt ist im Vergleich zur Temperatur etwas geringer, aber dennoch auf dem 5% Niveau signifikant.

Einerseits könnte hier der Zusammenhang zwischen Wetter und Outdooraktivität der Bevölkerung eine Rolle spielen. Die Abnahme an FSME-Fällen in niederschlagsreichen Jahren könnte im Zusammenhang mit der

Abnahme der Outdooraktivitäten der Bevölkerung stehen, da sich bei weniger Niederschlag das Bedürfnis der Bevölkerung erhöht, sich im Freien zu erholen. Da Wälder populäre Erholungsgebiete sind, erhöht sich somit die Wahrscheinlichkeit einer FSME-Infektion (Sumilo u. a., 2007).

Andererseits könnte der Effekt an der Sensibilität der Zecken gegenüber Umwelteinflüssen liegen. Li u. a. (2012) haben festgestellt, dass das Auftreten von *Ixodes ricinus*-Nymphen mit unterschiedlichen Feuchtigkeitsparametern, wie z. B. Niederschlag, negativ korreliert, ihr Ergebnis ist jedoch nicht auf dem 5% Niveau signifikant.

Einige weitere Studien, die den Einfluss des Niederschlags auf *Ixodes ricinus* untersucht haben, konnten eine positive Korrelation nachweisen (Jaenson u. Lindgren, 2011; Ruiz-Fons u. a., 2012). Es ist davon auszugehen, dass bei erhöhtem Niederschlag der Wasserstress für die Zecken generell geringer ist. Ein mit FSME, *Ixodes ricinus* und Niederschlag in Verbindung gebrachter Parameter ist die relative Luftfeuchtigkeit. Eine erhöhte relative Luftfeuchtigkeit erhöht die Viruszirkulation in den Zecken, schützt die Zecke vor dem Austrocknen und ermöglicht einen größeren horizontalen Aktionsradius der Zecke während der Wirtssuche (Estrada-Peña u. a., 2012).

Die relative Luftfeuchtigkeit stellt keine ausreichende Erklärung für eine potentielle Austrocknung von *Ixodes ricinus* dar. Sinkende Luftfeuchtigkeit ist zwar verantwortlich für einen Wasserverlust bei Zecken, jedoch besteht nur in Verbindung mit steigender Temperatur für die Zecken die Gefahr auszutrocknen (Estrada-Peña u. a., 2012).

Bisher wurde der Einfluss des Niederschlags nicht ausreichend, bzw. ohne eindeutiges Ergebnis, untersucht (Andreassen u. a., 2012; Godfrey u. Randolph, 2011; Hubálek u. a., 2003; Sumilo u. a., 2007), obwohl der Niederschlag möglicherweise sogar einen größeren Effekt auf die Etablierung von Zecken in neuen Gebieten hat als die Temperatur (Estrada-Peña u. a., 2012).

6.2.3.4 Feldhase

In der vorliegenden Arbeit konnte nachgewiesen werden, dass Feldhasen, *Lepus europaeus*, einen weiteren wichtigen Parameter im Viruszyklus von FSME in *Ixodes ricinus* darstellen. Bei Betrachtung der Risikokarte (Abbildung 5.11b) ist zu sehen, dass es sich um den stärksten Einfluss, im Vergleich zu den anderen Kovariablen, handelt. Es kann angenommen werden, dass eine höhere Jagdstrecke der Feldhasen mit einem risikoerhöhenden Effekt für

den entsprechenden Kreis einhergeht. Die hohen Werte für den Feldhasen im Ortenau-Kreis (Abbildung 4.13) stimmen deutlich mit den hohen Fallzahlen für FSME in diesem Kreis überein, so dass diese Kovariable möglicherweise den Ausreißercharakter des Ortenau-Kreises erklärt.

Dies ist die erste multivariate Studie, die *Lepus europaeus* als einen potentiell positiven Faktor bezüglich der Ausbreitung von FSME identifiziert. Viele Studien und Review-Artikel zählen Hasen zwar zu den Zecken bzw. FSME verstärkenden Größen (Gilbert, 2010; Süss, 2011; Tälleklint u. Jaenson, 1993), jedoch fehlen Studien, die diesen positiven Zusammenhang zwischen FSME und der Verbreitung von Hasen belegen. Zwar stellt Gilbert (2010) die Vermutung auf, dass ein positiver Effekt vom Schneehasen, *Lepus timidus*, auf die Verbreitung von *Ixodes ricinus* ausgeht, jedoch konnte dies nicht signifikant nachgewiesen werden.

Hinsichtlich des, dem FSMEV verwandten, Louping-ill-Virus konnte jedoch belegt werden, dass der Schneehase einen virusunterstützenden Wirt darstellen kann, da Cofeeding auf dem Schneehasen nachgewiesen wurde (Jones u. a., 2008; Laurenson u. a., 2003). Laurenson u. a. (2003) konnten sogar verifizieren, dass eine Reduktion der Schneehasenpopulation die Population von *Ixodes ricinus* und die Virusprävalenz ebenfalls reduziert.

Verschiedene Mäusearten, wie *Myodes glareolus* und *Apodemus flavicollis* und andere Nagetiere tragen zur viralen sowie zur nicht-viralen Zirkulation des FSMEV in einer Zeckenpopulation bei (Süss, 2011). Diese kleinen bis mittelgroßen Säugetiere werden vor allem von Larven und Nymphen als Wirt genutzt, da diese Entwicklungsstadien sich vermehrt in Bodennähe aufhalten, um Wasserstress zu vermeiden und einer Austrocknung zu entgehen (Burri u. a., 2011). Besonders bei sehr trockenen Bedingungen ziehen sich die Larven und Nymphen noch tiefer in die Vegetation zurück und erhöhen damit die Wahrscheinlichkeit vor allem kleinen Wirtstieren, wie Nagetieren, zu begegnen und an ihnen hängen bleiben zu können. Aufgrund des sehr begrenzten Platzes auf solch kleinen Nagetieren setzten Zeckenlarven sich zwangsläufig sehr nah an potentiell infektiösen Nymphen fest, so dass eine Virusübertragung durch das Cofeeding relativ effizient stattfinden kann (Jaenson u. a., 2012b).

So erfüllen also Nagetieren zwei Funktionen im FSME-/*Ixodes ricinus*-Zyklus: zum einen dienen sie als reine Nahrungsquelle, zum anderen als Reservoir für Infektionen. Dahingegen stellen andere Spezies, wie z. B. Rehe, ausschließlich eine Nahrungsquelle für Zecken dar, ohne dabei als Virusreser-

voir zu dienen, da sie, im Gegensatz zu Nagetieren, keine Virämie ausbilden. Sie sind sogenannte Sackgassen-Wirte, die zwar fähig sind den Zeckenzyklus durch Blutspenden aufrecht zu erhalten, jedoch für den Virus einen inkompetenten Wirt darstellen. Haemig u. a. (2008) vermuten einen so eintretenden Verdünnungseffekt auch bei Hasen (*Lepus timidus*, *Lepus europaeus*), fordern jedoch weitere Studien, um diesen Effekt validieren zu können.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass verschiedene kleinere Säugetiere einen positiven Einfluss, sowohl auf die Zeckenpopulation, als auch auf die Virusprävalenz von FSME haben. Zudem stellt der Hase einen wichtigen Wirt bezüglich der Zirkulation eines ähnlichen Virus dar, so dass auch ein virusunterstützender Effekt für FSME vermutet werden kann. Auch ein Verdünnungseffekt ist möglich, aber nicht hinreichend belegt. Folglich sollten Hasen als Indikator in ein potientiell Surveillance-System integriert werden, um die Überwachung der Ausbreitung von FSME zu optimieren. Jedoch bedarf es an dieser Stelle eine Verbesserung der Datenbasis, denn die Jagd unterliegt je nach Bezirk bzw. Bundesland unterschiedlichen Regelungen, so dass die Jagdstrecke geographisch und zeitlich sehr schwanken kann.

6.2.3.5 Fuchs

Der Fuchs konnte in der vorliegenden Arbeit als die Kovariable identifiziert werden, die den stärksten risikoreduzierenden Effekt aufweist. Mit Zunahme der Jagdstrecke in einem Kreis nimmt auch der risikoreduzierende Effekt zu. Vor allem den Stadtkreisen mit einer relativ geringen Jagdstrecke wird auch ein relativ geringer Einfluss auf das FSME-Risiko zugeschrieben (Abbildung 5.7).

Zwar konnten Haemig u. a. (2008) eine positive Korrelation zwischen Fuchs und FSME-Inzidenz zeigen, Kiffner u. a. (2010) haben jedoch ebenfalls eine negative Korrelation zwischen der Jagdstrecke der Füchse und den FSME-Inzidenzen bestätigen können. Der Fuchs scheint sehr unterschiedliche und wichtige Rollen im Kreislauf von FSME und *Ixodes ricinus* zu spielen.

Zum einen ist er ein wichtiger Räuber für viele Tiere, die in den FSME-/*Ixodes ricinus*-Zyklus eingebunden sind. Durch das Jagen von jungen Rehen vermindert der Fuchs die Chance für adulte Zecken einen Wirt zu finden und beeinflusst somit die Reproduktion neuer Zecken (Jaenson u. a., 2012c). Da er aber auch ein Räuber kleiner Säugetiere darstellt, beeinflusst er so auch indirekt den FSME-Kreislauf (Jaenson u. a., 2012c). Kleine Säugetiere stellen ein

sehr wichtiges Reservoir für FSME dar (siehe Kapitel 3.3.3 und Kapitel 6.2.3.4), so dass ein vermehrter Räuberdruck in Verbindung mit einer Minderung der Kleinsäugerpopulation zu einer Reduktion des FSME-Reservoirs führt. Zudem reduziert sich die Zahl potentieller Wirte für das Cofeeding sowie die Zahl der Wirtstiere, die eine virämische Verteilung des Virus unterstützten.

Zum anderen entwickeln Füchse, genau wie Rehe, Wölfe und Wildschweine, aber auch Menschen und Kleinvieh wie z. B. Schafe, Ziege und Rinder keine starke Virämie. Daher können nicht infizierte Zecken während der Blutmahlzeit nicht mit dem Virus infiziert werden und eine Verteilung des Virus wird verhindert (Dobler u. a., 2012; Pfeffer u. Dobler, 2010). Außerdem stellen Füchse vor allem für adulte Zecken einen potentiellen Wirt dar, so dass eine Virusübertragung und Verbreitung durch das Cofeeding, welches zwischen Larven und Nymphen stattfindet, nicht gegeben ist (Meyer-Kayser u. a., 2012).

Insgesamt kann von einem wichtigen Einfluss des Fuchses auf den FSME-/*Ixodes ricinus*-Zyklus ausgegangen werden und daher sollte diese Kovariable in das Indikatorenset einer Surveillance einfließen. Dies wird zusätzlich unterstützt durch die Studie von Rieger u. a. (1999), die belegen konnte, dass die Anti-FSME-Seroprävalenz im Fuchs die FSME-Inzidenz in der Bevölkerung widerspiegelt. So können unterschiedliche Daten über den Fuchs genutzt werden, um das Risiko von FSME in einem Gebiet zu bewerten.

6.2.3.6 Übernachtung

Zur Berücksichtigung von Tourismus als möglicher Effekt bezüglich des Vorkommens von FSME wurde erstmals in der vorliegenden Arbeit die Zahl der Übernachtungen pro Landkreis als eine Kovariable einbezogen. Die GWR hat ergeben, dass die Zahl der Übernachtungen einen positiven Einfluss auf das FSME-Risiko hat. Einen deutlich risikoe erhöhender Effekt wird vor allem im Süden Baden-Württembergs nachgewiesen, im übrigen Land ist der Effekt eher gering.

Die in dieser Studie betrachteten Übernachtungszahlen werden als Indikator für den Tourismus im jeweiligen Landkreis angesehen, da davon auszugehen ist, dass ein Großteil der gebuchten Übernachtungen auf touristische Aktivitäten zurückzuführen ist. Es werden zwar auch nicht touristische Übernachtungen erfasst und Übernachtungen z. B. in Kleinbetrieben oder auch bei Verwandten oder Bekannten werden nicht erfasst, so dass der Tourismus

im Einzelfall niedriger oder höher sein kann als nach der Übernachtungszahl. Insgesamt kann die Übernachtungszahl jedoch als Gradmesser für den regionalen Tourismus angesehen werden.

Durch zunehmenden Ökotourismus und Abenteuerreisen wird nach Jensenius u. a. (2006) die Inzidenz zeckenassoziierter Krankheiten in Zukunft steigen. Das könnte zum einen an dem vermehrten Kontakt zur Natur und so auch zu potentiell krankheitsübertragenden Zecken liegen. Zum anderen ist das Wissen über die Reiseziele und damit möglicherweise verbundene Risiken oft unzureichend. Dies kann zwar vermutlich nicht direkt auf die Situation in Baden-Württemberg übertragen werden, jedoch haben auch Stefanoff u. a. (2012) herausgefunden, dass Erholung in Form von Outdooraktivitäten in einem Mischwald mit einer Aufenthaltsdauer von mehr als 10 Stunden pro Woche ein erhöhtes FSME-Risiko darstellt. Solche und längere Verweildauern im Freien sind wahrscheinlich vorwiegend Touristen vorbehalten.

Die Verwendung von Übernachtungszahlen als Kennziffer für Tourismus in einer Analyse bezüglich der Verbreitung von FSME wurde in dieser Studie erstmalig durchgeführt und bestätigt den positiven Einfluss von touristischen Aktivitäten auf das FSME-Risiko. Daher erscheint es als sinnvoll in Zukunft diese vorhandene Datenquelle zu nutzen und die Übernachtungszahl als Indikator für Tourismus in ein Surveillance-System zu integrieren.

6.2.3.7 Höhenstufen

In der vorliegenden Arbeit konnte für keine Höhenstufe ein auf dem 5%-Niveau signifikanter Einfluss auf das FSME-Risiko nachgewiesen werden. Dennoch scheint die Geländehöhe einen Einfluss auf *Ixodes ricinus* bzw. FSME zu haben. Nach Danielová u. a. (2006); Medlock u. a. (2013) scheint mit zunehmender Geländehöhe das Vorkommen von *Ixodes ricinus* zu sinken.

Die Geländehöhe ist jedoch eine sehr vielfältige und komplexe Variable im FSME-/*Ixodes ricinus*-Zyklus. Es kann kein exaktes Höhenlimit für *Ixodes ricinus* angegeben werden, da je nach Mikroklima dieses sehr unterschiedlich ausfallen kann. Der Einfluss des Klimas wirkt sich je nach geographischer Breite sehr unterschiedlich auf *Ixodes ricinus* aus, so dass Zecken in verschiedenen Ländern auf divergenten Höhen zu finden sind (Gilbert, 2010; Holzmann u. a., 2009; Jouda u. a., 2004; Papa u. a., 2008; Rizzoli u. a., 2002). Daniel u. a. (2003) konnten in einem Experiment nachweisen, dass Zecken, die in große Höhen von ca. 700 m ü. NHN gebracht wurden, ihren Entwicklungszyklus

nicht zu Ende bringen konnten. Aufgrund der wenig optimalen Klimabedingungen weiteten die Zecken den Entwicklungszyklus aus, so dass sie, durch den daraus resultierenden hohen Energieverlust, sterben und keine stabile Population bilden können.

Für den Entwicklungszyklus und die Verbreitung von *Ixodes ricinus* in größeren Höhen ist das Klima zwar ein bedeutender Faktor, jedoch könnte *Ixodes ricinus* nicht ohne entsprechendes Vehikel in solche Höhen vordringen (Medlock u. a., 2013). Das Reh, *Capreolus capreolus*, z. B. stellt ein solches Vehikel für *Ixodes ricinus* dar. Mit steigenden Wintertemperaturen und längeren Vegetationsperioden in höheren Lagen sowie größerer geographischer Breite erweitert sich der Lebensraum für Rehe auf bisher inkompetente Habitate. Solche neuen Bewegungsmuster erlauben es *Ixodes ricinus* ebenfalls in höher gelegene sowie nördlichere Gebiete vorzudringen (Jaenson u. a., 2012c). Das Vordringen in solch neue Areale bringt gleichzeitig auch Kontakt zu neuen Wirtstieren wie z. B. Gämsen, *Rupicapra rupicapra*, mit sich und somit die Eröffnung weitere Alternativen im Zecken-Wirt-Zyklus (Medlock u. a., 2013). Neben der Veränderung des Klimas und der Verlängerung der Vegetationsperioden, spielt auch die Regelung von Waldbeständen und Wildtierpopulationen eine nicht unerhebliche Rolle (Rizzoli u. a., 2009).

Generell kann jedoch angenommen werden, dass mit zunehmender Höhe eine sinkende Zeckenpopulation vorzufinden ist (Daniel u. a., 2003; Danielová u. a., 2006; Omeragic, 2011). Dies könnte den in dieser Arbeit festgestellten Effekt größerer Höhen erklären. Da jedoch dieses Ergebnis, möglicherweise aufgrund sehr geringen Auftretens, nicht auf dem 5%-Niveau signifikant ist, bedarf es weiterer ausgedehnter Untersuchungen, um diesen Parameter in eine solche komplexe Analyse integrieren zu können.

6.2.4 Diskussion der Residuen

Residuen setzten sich zusammen aus der Differenz zwischen den beobachteten Fallzahlen und der, anhand des Risikos, geschätzten Fallzahlen. Für das Modell der geoadditive Poisson-Regression haben die Residuenwerte zwischen -0,38 und 0,26 angenommen, was darauf hindeutet, dass das Modell in einigen Bereichen unterschätzt bzw. überschätzt wurde. Es ist jedoch keine systematische Diskrepanz zwischen beobachteten und durch das Modell vorhergesagten Fallzahlen festzustellen, so dass von der Gültigkeit des Poisson-Modells ausgegangen werden kann.

Auch für die OLS und die GWR wurde weder ein systematischer Fehler noch Clustering der Residuen festgestellt. Eine statistisch signifikante Clusterbildung von hohen und/oder niedrigen Residuen hätte darauf hingedeutet, dass es sich um eine ungünstige Modellwahl handelt.

Insgesamt nahmen die Residuen in der OLS maximal Beträge von 6,8 an. Im Vergleich zur GWR mit einem Maximalbetrag von 4,8 (Abbildung 5.6) deuten die niedrigeren Beträge der GWR darauf hin, dass diese die Abhängigkeit der FSME-Inzidenzen von den untersuchten Kovariablen besser erklärt als die OLS.

In der GWR werden unbekannte Kovariablen zum einen durch die Koeffizienten, die den Einfluss, der im Modell enthaltenen Kovariablen zeigen, zum anderen durch die Residuen abgebildet. Da hier fehlende Kovariablen nicht, wie im Poisson-Modell, als zusätzliche Unbekannte (strukturiert und unstrukturiert räumlicher Effekt) in die Berechnung mit eingehen, kann die Größe der Residuen, also die Güte der Modelle, zwischen diesen Modellen nicht verglichen werden.

Auch beim Vergleich der R^2 -Werte ist zu erkennen, dass das GWR-Modell mit 0,79 wesentlich besser die FSME-Inzidenzen erklärt als das OLS-Modell mit 0,62 (Abbildung 5.12). 80% der FSME-Inzidenzen sind also durch das GWR-Modell abgedeckt und für die restlichen 20% sind nicht im Modell enthaltene Kovariablen verantwortlich. Das Einbinden weiterer Kovariablen in das GWR-Modell würde zwar möglicherweise die Modellgüte erhöhen, jedoch müsste das Untersuchungsgebiet ausgeweitet werden, um eine breitere Datengrundlage im Bereich der FSME-Fallzahlen zu erzielen.

6.2.5 Diskussion der Risikoabschätzung und -prognose

Für Europa wird für *Ixodes ricinus* eine Durchseuchungsrate mit FSME von mindestens 0,1 % bis 0,5% angenommen (Andreassen u. a., 2012; Lommano u. a., 2012), die mit jedem Entwicklungsstadium der Zecke etwas mehr ansteigt (Süss, 2011). Eine deutlich höhere Durchseuchungsrate weisen Zecken auf, die auf Menschen gefunden wurde. Hier liegt die Infektionsrate bei ca. 30% bis 40% (Bormane u. a., 2004; Süss u. a., 2004). Gründe hierfür liegen zum einen darin, dass infizierte Zecken eine höhere Suchaktivität und -aggressivität aufweisen, als nicht infizierte Zecken. Zum anderen erhöhte sich der FSME-Titer in der Zecke während der Blutmahlzeit durch einen Temperaturanstieg, induziert durch warmes Wirtsblut sowie durch biochemische

Prozesse (Belova u. a., 2012). Generell kann also von einer Unterschätzung der Durchseuchungsrate ausgegangen werden, da durch die angewendeten Methoden die Schwierigkeit besteht sehr geringe FSME-Titer in Zecken nachzuweisen (Belova u. a., 2012; Bormane u. a., 2004).

Durch die Verstärkung bzw. Verschiebung der Verbreitung von Zecken durch veränderte Umweltbedingungen (Medlock u. a., 2013) steigt auch die Gefahr für die Bevölkerung von einer Zecke gebissen zu werden. In Kombination mit der stagnierenden bzw. fortschreitenden Ausbreitung des FSMEV (Jaenson u. a., 2012b) erhöht sich das Risiko einer FSME-Infektion für den Menschen.

Bis jetzt bestehen jedoch, neben der Impftherapie, weder spezifische Medikamente gegen FSME noch sind durchschlagende Erfolge bei der Bekämpfung von Zecken zu verzeichnen. Selbst die Verwendung von Zeckenabwehrmitteln wie DEET⁷ schützt nur bedingt, da insbesondere mit dem FSMEV infizierte Zecken eine hohe DEET-Toleranz zeigen (Belova u. a., 2012). Daher ist die Anwendung von Zeckenabwehrmitteln mit DEET nur hilfreich, wenn die Anweisungen der Hersteller genau beachtet werden und kontinuierlich auf eine ausreichende DEET-Konzentration am Körper geachtet wird.

Eine Impftherapie stellt zur Zeit die einzige Maßnahme im Bereich einer medikamentösen Behandlung dar, die die Gefahr einer FSME-Infektion deutlich verringert. Um Impfkampagnen sinnvoll einsetzen zu können, ist es jedoch notwendig, Risikogebiete identifizieren und eine Risikoabschätzung durchzuführen zu können (Süss, 2011). Eine Abschätzung bezüglich des FSME-Risikos ist daher von entscheidender Bedeutung für Public Health. Hiermit können, durch gezielte Aufklärung der betroffenen Bevölkerung, verhaltenspräventive Maßnahmen optimiert werden, die das Risiko eines Zeckenbisses minimieren sowie die Übertragung des FSMEV reduzieren.

Das Risiko einer FSME-Infektion wurde z. B. für nicht geimpfte Touristen in Österreich abgeschätzt. Es wird davon ausgegangen, dass das Risiko für Touristen mit einer Übernachtungsdauer von mehr als vier Wochen bei 1:10.000 pro Monat liegt. Dies entspricht ungefähr dem Risiko einer Malaria-Infektion bei einer Reise nach Indien (Bröker u. Gniel, 2003b).

Für Deutschland wird das FSME-Risiko für jeden Kreis aus der gleitenden 5-Jahresinzidenz errechnet. Wird mehr als eine FSME-Erkrankung pro 100.000 Einwohner in einem Kreis in diesem Zeitraum identifiziert, erfolgt die Einstu-

⁷Diethyltoluamid

fung als FSME-Risikogebiet (RKI, 2012). Auch Lindgren u. a. (2012) konstatieren, dass eine Überwachung von FSME rein über serologische Befunde beim Menschen ausreicht. Die Überwachung von FSME über die Meldedaten wird jedoch immer schwieriger, da steigende Impfraten zu einer Fehleinschätzung der Verbreitung des FSMEV führen. Daher sollte eine Risikoabschätzung nicht nur über die FSME-Prävalenz oder nur über die FSME-Inzidenz erfolgen. Die Prävalenz des FSMEV in Zecken stellt zwar einen guten Richtwert für die Risikoanalyse in einem Naturherd dar, aber eine direkte Übertragung auf das Risiko für die Bevölkerung ist problematisch (Andreassen u. a., 2012). Zum anderen ist die reine Betrachtung der FSME-Inzidenzen nicht nur wegen der steigenden Impfrate schwierig, sondern auch aufgrund der hohen Dunkelziffer im Bereich der erkannten FSME-Infektionen, da etwa 60% asymptomatisch verlaufen (CDC, 2012).

Nach Holzmann u. a. (2009); Klaus u. a. (2010a,b) sollten zur sicheren Risikoabschätzung und Charakterisierung von FSME-Endemiegebieten alle direkten (Virusisolation von Zecken und kleinen Säugetieren) und indirekten (serologische Bestimmung des FSMEV in Tieren, gesicherte FSME-Fälle beim Menschen) Virenfunde in dem entsprechenden Naturherd analysiert werden. Nicht nur im Hinblick auf die relativ gängige Übertragung des FSMEV auf den Menschen über einen Zeckenbiss, sondern auch aufgrund zusätzlicher Übertragungswege mit dem FSMEV infizierte unpasteurisierte Milch oder andere Milchprodukte von Kühen, Schafen und Ziegen (Klaus u. a., 2010b; van Tongeren, 1955), ist die Analyse der Virusprävalenz in *Ixodes ricinus* sowie in unterschiedlichen Tierarten sehr bedeutend.

Die Charakterisierung von FSME-Endemiegebieten auf Basis der Inzidenz und Prävalenz ist zwar die Schlüsselkomponente einer FSME-Surveillance, im Zuge der vielfältigen Umweltveränderungen ist es jedoch notwendig, auch die Verbindung zwischen Ausbreitung der Infektionskrankheit und Umweltveränderungen zu berücksichtigen (CDC, 2012; Lindgren u. a., 2012; Semenza u. Menne, 2009). Auch die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstreichen, dass bei einem so komplexen Virus-Vektor-Wirt-Zyklus wie im Fall des FSMEV, weit mehr Indikatoren benötigt werden, um eine umfassende und erfolgreiche Überwachung, Vorhersage und Initiierung von Präventivmaßnahmen zu gewährleisten. Darüber hinaus sollten, neben *Ixodes ricinus*, auch andere potentielle Vektoren, die für eine Übertragung von FSME verantwortlich sein könnten, berücksichtigt werden. Hier ist nicht nur die Zeckenart *Ixodes persulcatus* zu nennen (Labuda u. Randolph, 1999), sondern auch Flö-

he und Milben stehen im Verdacht den FSMEV zu übertragen (Brinck u. a., 1967; Jaenson u. a., 2012b).

Um eine solch umfassende Surveillance aufbauen zu können, könnte das hier entwickelte Indikatorenset eine entscheidende Rolle spielen. Es zeigt auf, welche Variablen bisher einen nachgewiesenen Einfluss auf die Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* haben und welche Variablen im Verdacht stehen einen Beitrag zu leisten, obwohl bisher keine Forschungsergebnisse präsentiert werden konnten. Die aufgezeigten Lücken sollten durch weitere spezifische Studien ergänzt werden, um das Indikatorenset zu komplementieren und ein besseres Surveillance-System aufbauen zu können. So wäre das hier präsentierte Indikatorenset als Grundlage für das von der CDC geforderte einheitliche europaweite Surveillance-System geeignet. Der ECDC⁸ sammelt Daten zu bestehenden FSME-Surveillance-Systemen in Europa mit dem Ziel, die Berichterstattung zu charakterisieren, die epidemiologische Situation festzuhalten und Risikogebiete zu identifizieren. Es konnte festgestellt werden, dass die Daten aus den Surveillance-Systemen kein vollständiges Bild der FSME-Situation abbilden. Daher wird eine einheitliche und damit vergleichbare Berichterstattung für ganz Europa gefordert, die neben einer europaweit kongruenten FSME-Falldefinition auch biotische und abiotische Variablen zur Risikoabschätzung beinhalten soll (CDC, 2012).

Ein wichtiges Ziel einer Surveillance ist nach Krämer u. Reintjes (2003) das „frühzeitige Entdecken einer epidemischen Bedrohung“. Daher sind die aktuellen Bemühungen Vorhersagen bezüglich der Gefahr einer FSME-Infektion zu treffen von entscheidender Bedeutung für Public Health. Solche Vorhersagemodelle entwickelten Haemig u. a. (2011) und Daniel u. a. (2010). Für das Modell von Haemig u. a. (2011) wurden Klima- und Wildtierdaten für die Jahre 1984 bis 2008 aus der Region Stockholm verwendet, um ein kostengünstiges und effektives Vorhersagemodell zu erstellen. FSME-Inzidenzen wurde nur zur Identifizierung von möglichen Fehlern herangezogen. Auf Basis von Niederschlagsdaten für die Dezembermonate sowie die Jagdstrecke des Nerzes *Neovison vison* konnte ein relativ sicheres Modell zur Vorhersage von FSME für das letzte Vierteljahrhundert erstellt werden. Rein auf Klimadaten basiert das Modell von Daniel u. a. (2010), mit dem die Wirtssuchaktivität von *Ixodes ricinus* abgeschätzt wurde.

Diese Modelle können eingesetzt werden, um Präventionsprogramme im

⁸Europäisches Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten

Hinblick auf FSME zu unterstützen, ohne jedoch dabei auf FSME-Inzidenzen oder FSME-Prävalenzen zurückgreifen zu müssen. Bei der Annahme eines hohen FSME-Vorkommens in einem Jahr, kann die Identifizierung und Lokalisierung des Vektors von enormer Bedeutung sein. In Bereichen in denen die Wahrscheinlichkeit eines Kontaktes zwischen Vektor und Mensch erhöht ist, wie z. B. Spielplätzen, Badeseen oder Grill- und Campingplätzen können im jeweiligen Jahr verhaltenspräventive Maßnahmen eingeleitet werden. Damit ist ein Grundstein für eine erfolgreiche Bekämpfung von FSME gelegt.

Auf Basis der vorliegenden Arbeit konnten keine solchen Vorhersagemodelle erstellt werden, da die vorliegenden Modelle aufgrund der niedrigen Fallzahlen sowie der Einschränkung des Untersuchungsgebietes keine validen Prognosen zu lassen. Jedoch soll für Deutschland ein solches Vorhersagemodell in einem, vom Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg geförderten Forschungsprojekt entwickelt werden. In dieser detaillierten, lokalen Langzeitstudie sollen kleinräumige Standorte in Baden-Württemberg hinsichtlich der Einflussfaktoren wie z. B. (Mikro-) Klima, Wirtspopulation und Landnutzung untersucht werden. Ziel ist es, die räumliche Verteilung von Zecken und ihrer Krankheitserreger besser nachvollziehen und kleinräumige Risikogebiete deklarieren bzw. eine Risikovorhersage treffen zu können (KIT, 2012).

6.3 Fazit und Ausblick

In der vorliegende Arbeit wurde ein Indikatorenset ausgearbeitet, das aus bekannten und neuen FSME-assoziierten Parametern besteht. Damit wurde eine Grundlage geschaffen, die Ausbreitung von FSME besser überwachen zu können und einen entscheidenden Beitrag zu Bekämpfung der viralen Hirnhautentzündung zu leisten.

Hierbei wurde insbesondere der Aspekt der Überwachung und Surveillance, aber auch der Prävention analysiert. Mit verschiedenen räumlich statistischen Verfahren konnten Einflussgrößen identifiziert werden, deren Einbindung in ein Surveillance-System als wichtig erscheint.

Es hat sich gezeigt, dass die angewendeten Methoden geeignet sind Risikofaktoren zu bestimmen und GIS ein wertvolles Instrument nicht nur zur Darstellung von Umweltparametern und deren Veränderungen, sondern auch zur Überwachung von Krankheiten und ihrer Ausbreitung ist. Durch die

Zusammenstellung bereits existierender Datensätze und deren gemeinsame Analyse konnte eine großräumige und gleichzeitig kostengünstige Vorgehensweise entwickelt werden.

Die Ergebnisse dieser Arbeit werden im folgenden anhand der in Kapitel 2.5 formulierten Fragestellungen zusammengefasst und diskutiert. Dabei wird besonderes Augenmerk auf das, aus der Studie resultierende Entwicklungspotential für Surveillance-Systeme und die Nutzung von GIS gelegt.

1. Welche positiven wie negativen Korrelationen sind zwischen den Umweltfaktoren und der Vektoren- sowie der Infektionsausbreitung in der Untersuchungsregion erkennbar?

Die Ergebnisse der Korrelationsanalysen zeigen eine eindeutige Abhängigkeit zwischen der Verbreitung von FSME und verschiedenen Umweltfaktoren. Ein signifikant risikoe erhöhender Effekt auf das FSME-Risiko konnte für die Variablen Mischwald, Nadelwald, Feldhase und Übernachtungen nachgewiesen werden. Als risikomindernde Einflussgrößen wurden Mitteltemperatur des Jahres, Niederschlag des aktuellen Jahres sowie des Vorjahres, Vorjahrestemperatur im Winter und Fuchs identifiziert.

Der Fuchs scheint aus gesundheitswissenschaftlicher Sicht eine besondere Rolle zu spielen. Er stellt einen Räuber für eine Vielzahl von wichtigen Wirtstieren von *Ixodes ricinus* dar. Kleinsäuger, die zum Beuteschema des Fuchses gehören, sind gleichzeitig ein wichtiges Reservoir für FSME und verschiedene andere zeckenassoziierte Krankheiten, wie z. B. *Borrelia burgdorferi sensu lato* und *Rickettsia helvetica*. Durch die Jagd auf junge Rehe reduziert der Fuchs nicht nur die Anzahl der Zecken, sondern vermindert auch die Streuung in weiter entfernte Areale (Jaenson u. a., 2012c). So kann der Fuchs auf mehrere Arten zur Reduktion humanpathogener infizierter Zecken beitragen und die Krankheitsausbreitung reduzieren.

Das Vorkommen von Wirtstieren ist ein Schlüsselfaktor in der Frage nach der Verbreitung von FSME bzw. *Ixodes ricinus* und stellt eine direkte Einflussgröße dar. Hierzu zählen auch die risikoe erhöhenden habitatsbezogenen Parameter Laub- und Nadelwaldvorkommen sowie das menschliche Handeln, hier dargestellt durch die Zahl der Übernachtungen. Das Risiko einer FSME-Infektion hängt direkt mit dem zeitlichen Zusammentreffen der Suchaktivität und dem Aufenthalt potentieller Wirte im Verbreitungsgebiet der Zecken zusammen. Daher ist es notwendig die Zusammenhänge zwischen

dem Auftreten von suchaktiven Zecken und Faktoren, die mit Zeckenhabitat und Wirtstierverbreitung assoziiert sind, aufzudecken. Diese direkten Einflussgrößen werden jedoch wiederum wesentlich von verschiedenen Klimaparametern beeinflusst. Neben großräumigen Klimabedingungen, die die Zeckenhabitate und die Wirtstiere beeinflussen, sind es vor allem kleinräumige Klimabedingungen, die direkt auf das Verhalten der Zecken einwirken und so das Risiko einer FSME-Infektion steuern.

Ein detailliertes Verständnis dieser Interaktionen zwischen den einzelnen Einflussgrößen, die Identifizierung weiterer Risikofaktoren sowie eine qualitativ und quantitativ stärkere Datenbasis sind notwendig, um eine Abschätzungen des FSME-Risikos für die Bevölkerung durchführen zu können.

2. Welche gesundheits- und umweltbezogenen Präventionsmaßnahmen lassen sich auf Basis der Monitoring- und Surveillance-Systeme entwickeln?

FSME ist immer noch eine stark unterschätzte Infektionskrankheit. In nicht-Risikogebieten kann die Gefährdungslage für Erwachsene und Kinder leicht falsch eingeschätzt werden, da die Krankheit nicht im Bewusstsein der Bevölkerung verankert ist. Insbesondere wegen möglicher Fehleinschätzung, aber auch bei Reisen in Risikogebiete kann es so zu vermeidbaren Infektionen kommen. Daher sollten, auf Basis von Surveillance-Systemen gezielte Präventionsmaßnahmen entwickelt und zum Schutz der Bevölkerung umgesetzt werden. Die vorliegenden Ergebnisse haben gezeigt, dass die Verbreitung von FSME und *Ixodes ricinus* von vielen Parametern abhängt. Nach der Identifizierung der Einflussgrößen können diese benutzt werden, um eine erste Überwachung zu ermöglichen.

Die wichtigste Einflussgröße bezüglich des FSME-Risikos stellt das Vorkommen der Zecken dar. Somit vermindert die Reduktion der Zeckenpopulationen das Risiko einer FSME-Infektion. Neben einem direkten Eingriff mit Akariziden⁹ in das Ökosystem (Fish u. Childs, 2009), besteht die Möglichkeit die Habitate für Zecken und ihre Wirtstiere durch forstwirtschaftliche Eingriffe ungeeignet zu gestalten. Diese Varianten dämmen möglicherweise die Population der Zecken ein, stellen jedoch gleichzeitig einen unakzeptablen Eingriff in das Ökosystem dar. Einen sehr gezielten und möglicherweise hilfreichen Ansatz stellt die Anpassung von Wegrändern an Spazierwegen dar.

⁹Pestizide oder Biozide zur Bekämpfung von Zecken

Hier könnten durch ein Surveillance-System kleinräumige Risiko-Gebiete identifiziert und entsprechende forstwirtschaftliche Maßnahmen umgesetzt werden (Haemig u. a., 2008), um geeignete Zeckenhabitats am Wegesrand zu minimieren.

Jedoch scheinen nach Piesman u. Eisen (2008) die effektivsten Präventionsmaßnahmen in der individuellen Verantwortung der Bevölkerung zu liegen. Hierbei ist vor allem die Vermeidung des direkten Kontakts zu Zecken durch angepasstes Verhalten, Kleidung und das Auftragen von DEET-haltigen Zeckenabwehrmitteln ausschlaggebend. Da jedoch diese Maßnahmen, z. B. durch unsachgemäße Anwendung der Zeckenabwehrmittel, nicht zu 100% vor einem Zeckenbiss schützen, ist die Impfung gegen FSME ein weiterer wichtiger Schritt in der FSME-Prävention.

Um das individuelle Risiko je nach Wohnort, Arbeitsplatz und persönlichem Verhalten besser abschätzen zu können, ist es notwendig, der Bevölkerung die Möglichkeit zu geben, sich über möglicherweise kleinräumige, potentielle Risikogebiete informieren zu können. Dazu wurde z. B. an der Universität Yale eine Iphone App entwickelt, die auf Basis der Abundanz von Lyme Borreliose-infizierten Zecken eine Risikokarte für die Vereinigten Staaten enthält. Durch die Verknüpfung mit GPS¹⁰-Daten kann dann das Risiko in dem Gebiet, in dem man sich aufhält, abgelesen werden. Darüber hinaus enthält diese App auch eine Bestimmungshilfe, mittels lebensgroßer Zeckenabbildungen, und andere wichtige Informationen, wie z. B. Empfehlungen zur Zeckenentfernung, Bilder von typischen Zeckenhabitats, Aufklärung über die Symptome einer Lyme Borreliose sowie die Lokalisierung des nächsten Arztes inklusive Adresse und Telefonnummer. Leider ist keine Aktualisierung der Risikokarte geplant (mündliche Mitteilung Durland Fish), was jedoch im Hinblick auf das Wissen um die starke Dynamik der Zecken zwingend erforderlich wäre.

Eine regelmäßige Aktualisierung ihrer „Zeckenwetter App“ verspricht jedoch die deutsche Firma tick-radar GmbH. Auf Basis von sechs Zeckenstationen, individuell gefangener Zecken und Wetterdaten schätzen die Experten die aktuelle Zeckenaktivität für große Teile Deutschlands ab. Die Bürger können sich so über die Zeckenaktivität in ihrer Region informieren, sowie auf andere zeckenbezogene Informationen zugreifen. Zwar ordnen die Experten die Land- bzw. Stadtkreise, abhängig vom Abstand zur nächsten Zeckenstati-

¹⁰Global Positioning System

on, Prognosegüteklassen zu, allerdings ist die Anzahl der Zeckenstationen relativ zur Größe des Prognosegebiets gering.

Diese Good-Practice-Beispiele zeigen eine, an die heutigen medialen Möglichkeiten angepasste Präventionsmaßnahme, welche direkt von der Bevölkerung genutzt werden kann. Eine Vereinfachung und Verbesserung bezüglich der schwer zu aktualisierenden Zeckendaten könnte durch Soziale Medien erfolgen. Das RKI entwickelt in einem europaweiten Forschungsprojekt, auf Basis von Meldungen in sozialen Medien, ein Frühwarnsystem für Infektionskrankheiten, das M-eco¹¹ (Denecke, 2012). M-eco filtert Online- oder Twitternachrichten, die in Verbindung mit bestimmten Krankheiten und Symptomen stehen. Diese Informationen, in Verbindung mit Ortsangaben, werden nach Krankheiten gebündelt und können vom Benutzer des M-eco abgerufen werden. M-eco ist vor allem für Epidemiologen, lokale und internationale Gesundheitsbehörden sowie darüber hinaus Personen, die beruflich mit Infektionssurveillance zu tun haben interessant. Mit Hilfe dieser neuartigen Methode können Surveillance-Systeme sowohl komplementiert, als auch beschleunigt werden. M-eco kann Krankheitsausbrüche wesentlich schneller erkennen als der traditionelle Meldeweg und stellt eine Ergänzung dar, die in Zukunft Prävention und Surveillance unterstützen kann.

3. Welche Empfehlungen können auf Basis der Ergebnisse für die Etablierung eines Surveillance-Systems in der ausgewählten Region gegeben werden?

Die vorliegende Dissertation hat gezeigt, dass es möglich ist, auf Basis vorhandener Daten, die räumliche Entwicklung von FSME-Infektionen zu analysieren. Insbesondere konnten Abhängigkeiten von Klima, Wirtstieren und Tourismusaktivitäten nachgewiesen werden. Hier sollte eine Surveillance ansetzen und Daten erfassen, die über die reine Beobachtung der Krankheitsfälle hinaus gehen. Anhaltspunkte zu den zu erfassenden Daten liefert das in dieser Arbeit aufgebaute Indikatorenset (Tabelle 5.1).

Bisher besteht die Überwachung von FSME in Baden-Württemberg aus der Surveillance des RKI, wobei hier nur die nach dem IfSG gemeldeten Fallzahlen einfließen. Neben Informationen aus dem Web 2.0 sollten zum einen bereits vorhandene Daten zu Klima, Wirtstieren und Tourismus bzw.

¹¹Medical Ecosystem

Freizeitaktivitäten erfasst und zusammengeführt werden. Zum anderen sollten auch Daten zur Abundanz der Zecken und zum Durchseuchungsgrad der Naturherde hinzugezogen werden, da so eine präzisere Analyse und lokale Aufklärung des Risikos ermöglicht wird.

Es wäre eine kleinräumige und detaillierte Erfassung dieser Einflussgrößen notwendig. Diese birgt jedoch wiederum das Risiko, durch starke Schwankungen der Klima- und Umweltbedingungen innerhalb der kurzen Messperioden, wesentlich beeinflusst zu werden. Daher sollten diese Erhebungen über einen längeren Zeitraum in regelmäßigen Intervallen wiederholt werden, so dass die Daten von solchen Schwankungen durch gleitende Mittelung bereinigt werden können.

Diese Einflussgrößen wurden in hoher Auflösung allerdings bisher nur lokal sehr begrenzt erfasst, so dass für ein ganzheitliches Bild über FSME in Baden-Württemberg diese Datenerhebungen ausgeweitet werden sollten. Aufgrund der hohen Kosten stellt sich jedoch die Frage, ob eine solche, Datenerfassung zukünftig durchgeführt werden kann.

Die statistischen Analysen, die in dieser Arbeit angewendet wurden, weisen des weiteren darauf hin, dass eine Ausweitung des Untersuchungsgebietes auf ganz Deutschland wünschenswert ist. Zum einen würde dadurch eine gute Datengrundlage geschaffen, um valide Prognosen des FSME-Risikos zu ermöglichen und zum anderen könnte so die Ausbreitung in Nicht-Endemiegebiete frühzeitig erkannt werden.

Insgesamt sollten also sowohl Daten in hoher Auflösung, als auch möglichst große zusammenhängende Areale in einem Surveillance-System betrachtet werden. Dadurch kann dem Umstand Rechnung getragen werden, dass das Infektionsrisiko z. T. von sehr kleinräumigen Variationen abhängig und die FSME-Inzidenz relativ gering ist. Dazu könnte ein valides Vorhersagemodell im Rahmen eines Surveillance-Systems aufgebaut werden.

4. Welche Ausblicke lassen sich für eine deutschland- und europaweite Surveillance ableiten?

Die Basis für die Etablierung einer europaweiten Surveillance von Infektionskrankheiten wurde bereits 1998 geschaffen. Das EU¹²-Parlament und der Ministerrat haben den Beschluss gefasst ein Netzwerk für die epidemiologische Überwachung und Kontrolle von Infektionskrankheiten zu schaffen

¹²Europäische Union

(Europäisches Parlament und Rat der EU, 1998). Nach erheblichen Schwierigkeiten bei der Koordinierung der europaweiten SARS¹³-Fällen im Jahr 2003, wurde 2005 die ECDC gegründet. Die Hauptaufgabe dieses koordinierend wirkenden europäischen Zentrums besteht in der Standardisierung der europäischen Infektionsüberwachung (Ammon u. Faensen, 2009).

Wie in der vorliegenden Dissertation bestätigt, hängt die Verbreitung von Infektionskrankheiten von sehr unterschiedlichen Faktoren ab. Dieser Umstand wird auch von der ECDC berücksichtigt, in dem unterschiedliche Surveillance-Systeme geschaffen wurden. Dazu gehören hinsichtlich VBI vor allem das TESSy¹⁴ zur Überwachung von Infektionskrankheiten, das VBORNET¹⁵ zur Aufnahme vektorspezifischer Parameter und das E₃¹⁶ zur Analyse von Klima- und Umweltdaten in Verbindung mit epidemiologischen Daten.

Solche vielfältigen und unterschiedlichen Surveillance-Systeme sind essenzielle Bestandteile einer umfassenden VBI-Surveillance. Allerdings haben die bisherigen Bemühungen des ECDC bezüglich einer europaweiten Surveillance nicht die gewünschten Erfolge erzielt. Es besteht nach wie vor der Bedarf einer Verbesserung der Surveillance in Europa, wobei der Schwerpunkt auf dem Erlangen von homogenen, vergleichbaren Daten auf EU-Niveau liegt. Dies würde vor allem die Versorgung von Entscheidungsträgern, Akteuren im Public Health-Sektor sowie der Bevölkerung mit Informationen über aktuelle Infektionsrisiken erleichtern. Die Problematik der inhomogenen Datenlage liegt nach dem CDC (2012) auch für FSME vor und sollten schnellst möglich behoben werden.

Die in dieser Dissertation erlangten Ergebnisse zeigen, dass es zusätzlich hilfreich wäre, feiner skalierte Daten zur Risikoabschätzung zu nutzen. Dabei sollte nicht nur die Sammlung von Inzidenzzahlen optimiert werden. Auch die Aufnahme von Daten über Abundanz und Durchseuchungsrate der Zecken und Wirtstiere sowie über biotische und abiotische Faktoren sollte gefördert werden, um das Potential eines europaweiten Surveillance-Systems optimal ausschöpfen zu können. Auch eine intervallartige Überwachung von nicht-Endemiegebieten sollte angedacht werden, da Vögel den FSMEV über weite Strecken transportieren und daher in bisher völlig unauffällige Gebiete

¹³Schweres Akutes Respiratorisches Syndrom

¹⁴The European Surveillance System

¹⁵European Network for Arthropod Vector Surveillance for Human Public Health

¹⁶European Environment and Epidemiology (E₃) Network

verschleppen können. Hier besteht die Möglichkeit der Entstehung neuer FSME-Naturherde, die ein Risiko für die Bevölkerung darstellen. Neue Gebiete können ebenfalls erschlossen werden, indem neu eingewanderte Arten (Neozoen) in den Virus-Vektor-Wirts-Zyklus eingreifen. Sie können als neuer Wirt sowohl die Verbreitung von *Ixodes ricinus*, als auch von FSME fördern und sollten daher ebenfalls in eine Surveillance integriert werden. Darüber hinaus empfiehlt das CDC für Europa die routinemäßige Erfassung dieser Überwachungsdaten sowie die Einführung einer europaweit einheitlichen Falldefinition für FSME (CDC, 2012).

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit leisten nicht nur einen Beitrag zum Schutz der Bevölkerung vor FSME, sondern fördern auch das allgemeine Verständnis zum Verhalten von *Ixodes ricinus*. Daher unterstützen sie auch die Bekämpfung anderer durch *Ixodes ricinus* übertragbarer Infektionskrankheiten. Hierbei handelt es sich insbesondere um Infektionskrankheiten, die durch die Bakterien der Arten *Anaplasma phagocytophilum*, *Borrelia burgdorferi sensu lato*, *Coxiella burnetii*, *Francisella tularensis*, *Neoehrlichia mikurenensis* und *Rickettsia helvetica*, die Parasiten der Art *Babesia venatorum* sowie das *Eyach-Virus* ausgelöst werden.

Im Falle vom FSMEV und *Borrelia burgdorferi sensu lato* wurde festgestellt, das *Ixodes ricinus* z. T. Träger beider Krankheitserreger ist und diese somit bei einem Zeckenbiss gleichzeitig auf den Menschen übertragen werden können (Korenberg u. a., 1999). Als Folge kann es beim Menschen zu einer sogenannten Koinfektion kommen, bei der beide Erreger gemeinsam auftreten und sich in ihrem Krankheitsbild gegenseitig beeinflussen. Da dies die klinische Diagnostik erschwert, stellen Koinfektionen eine weitere Herausforderung für Public Health und insbesondere für die Risikoabschätzung von FSME dar und unterstreichen einmal mehr die Notwendigkeit das Wissen über den Vektor-Virus-Wirt-Komplex auszubauen.

Literaturverzeichnis

- [Ackermann 2005] ACKERMANN, F. ; EPSTEIN, P.R. (Hrsg.) ; MILLS, E. (Hrsg.): *Climate Change Future: Health, Ecological and Economic Dimensions*. The Center of Health and the Global Environment, Havard Medical School, 2005. – 27 S.
- [Alpers u. a. 2004] ALPERS, K. ; STARK, K. ; HELLENBRAND, W. ; AMMON, A.: Zoonotische Infektionen beim Menschen: Übersicht über die epidemiologische Situation in Deutschland. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 7 (2004), S. 622–632
- [Ammon u. Faensen 2009] AMMON, Andrea ; FAENSEN, D.: Surveillance von Infektionskrankheiten auf europäischer Ebene. 52 (2009), Nr. 2, 176-182-. <http://dx.doi.org/10.1007/s00103-009-0759-y>. – ISSN 1436–9990
- [Anderson 1991] ANDERSON, J. F.: Epizootiology of Lyme borreliosis. In: *Scand J Infect Dis Suppl* 77 (1991), S. 23–34
- [Andreassen u. a. 2012] ANDREASSEN, Ashild ; JORE, Solveig ; CUBER, Piotr ; DUDMAN, Susanne ; TENGS, Torstein ; ISAKSEN, Ketil ; HYGEN, Hans O. ; VILJUGREIN, Hildegunn ; ANESTAD, Gabriel ; OTTESEN, Preben ; VAINIO, Kirsti: Prevalence of tick borne encephalitis virus in tick nymphs in relation to climatic factors on the southern coast of Norway. In: *Parasit Vectors* 5 (2012), Aug, Nr. 1, 177. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-5-177>. – DOI 10.1186/1756–3305–5–177
- [Aron u. Patz 2001] ARON, J.L. (Hrsg.) ; PATZ, D.M. (Hrsg.): *Ecosystem Change and Public Health: A Global Perspective*. The Johns Hopkins University Press, 2001. – 480 S.
- [Banzhoff u. a. 2008] BANZHOFF, Angelika ; BRÖKER, Michael ; ZENT, Olaf: Protection against tick-borne encephalitis (TBE) for people living in and travelling to TBE-endemic areas. In: *Travel Med Infect Dis* 6 (2008), Nov, Nr. 6, 331–341. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tmaid.2008.06.011>. – DOI 10.1016/j.tmaid.2008.06.011
- [Belova u. a. 2012] BELOVA, Oxana A. ; BURENKOVA, Ludmila A. ; KARGANOVA, Galina G.: Different tick-borne encephalitis virus (TBEV) prevalences in unfed versus partially engorged ixodid ticks—evidence of virus replication and changes in tick behavior. In: *Ticks Tick Borne Dis* 3 (2012), Sep, Nr. 4, 240–246. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.05.005>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2012.05.005
- [Benes u. Rataj 2004] BENES, V. ; RATAJ, J.: *Stochastic Geometry:: Selected Topics*. Springer, 2004
- [Benninger 2011] BENNINGER, Gerlinde: Zoonosen: Bekannte und neue Infektionskrankheiten – eine Herausforderung für die Forschung an der Schnittstelle von Human- und Veterinärmedizin. In: *Deutsche Zeitschrift für Klinische Forschung* 5/6 (2011)

- [van den Berg u. von der Ahé 1997] BERG, N. van d. ; AHÉ, K.-R. von d.: Geoinformationssysteme in der Epidemiologie. In: *Kartographische Nachrichten* 47 (1997), Nr. 2, S. 52–59
- [Bill 2010] BILL, R.: *Grundlagen der Geo-Informationssysteme*. Wichmann, 2010
- [Binder u. a. 1999] BINDER, S. ; LEVITT, A. M. ; SACKS, J. J. ; HUGHES, J. M.: Emerging infectious diseases: public health issues for the 21st century. In: *Science* 284 (1999), May, Nr. 5418, S. 1311–1313
- [Blunden u. a. 2011] BLUNDEN, J. ; ARNDT, D. S. ; BARINGER, M. O.: State of the Climate in 2010. In: *Bull. Amer. Meteor. Soc.* 92 (2011), Juni, Nr. 6, S1–S236. <http://dx.doi.org/10.1175/1520-0477-92.6.S1>. – DOI 10.1175/1520-0477-92.6.S1. – ISSN 0003-0007
- [Bormane u. a. 2004] BORMANE, Antra ; LUCENKO, Irina ; DUKS, Arnis ; MAVTCHOUTKO, Violeta ; RANKA, Renate ; SALMINA, Kristine ; BAUMANIS, Viesturs: Vectors of tick-borne diseases and epidemiological situation in Latvia in 1993-2002. In: *Int J Med Microbiol* 293 Suppl 37 (2004), Apr, S. 36–47
- [Bowman u. Nuttall 2008] BOWMAN, A. S. ; NUTTALL, P. A.: *Ticks: Biology, Diseases & Control*. Cambridge University Press, 2008
- [Boyard u. a. 2008] BOYARD, Chloé ; VOURE'H, Gwenaél ; BARNOUIN, Jacques: The relationships between *Ixodes ricinus* and small mammal species at the woodland-pasture interface. In: *Exp Appl Acarol* 44 (2008), Jan, Nr. 1, 61–76. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-008-9132-3>. – DOI 10.1007/s10493-008-9132-3
- [Brinck u. a. 1967] BRINCK, P. ; JOHNELS, A. ; LUNDHOLM, B. ; SVEDMYR, A. ; ZEIPEL, G. von ; ZETTERBERG, B.: Small Mammals in Sweden as Hosts of Tick-Borne Encephalitis Virus and Vagrant Ectoparasites. In: *Oikos* 18 (1967), jan, Nr. 1, 124–134. <http://www.jstor.org/stable/3564640>. – ISSN 00301299
- [Brink 2010] BRINK, David: *Essentials of Statistics*. 2nd. Ventus Publishing ApS, 2010. – 103 S. – ISBN: 978-87-7681-408-3
- [Bröker u. Gniel 2003a] BRÖKER, M. ; GNIEL, D.: Neue FSME-Naturherde von Nord- bis Südeuropa. In: *ImpfDialog* 2 (2003), S. 71–74
- [Bröker u. Gniel 2003b] BRÖKER, Michael ; GNIEL, Dieter: New foci of tick-borne encephalitis virus in Europe: consequences for travellers from abroad. In: *Travel Medicine and Infectious Disease* 1 (2003), aug, Nr. 3, 181–184. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1477893903000632>. – ISSN 1477-8939
- [Burri u. a. 2011] BURRI, C. ; BASTIC, V. ; MAEDER, G. ; PATALAS, E. ; GERN, L.: Microclimate and the zoonotic cycle of tick-borne encephalitis virus in Switzerland. In: *J Med Entomol* 48 (2011), May, Nr. 3, S. 615–627

- [Carneiro u. Mylonakis 2009] CARNEIRO, Herman A. ; MYLONAKIS, Eleftherios: Google trends: a web-based tool for real-time surveillance of disease outbreaks. In: *Clin Infect Dis* 49 (2009), Nov, Nr. 10, 1557–1564. <http://dx.doi.org/10.1086/630200>. – DOI 10.1086/630200
- [CDC 1988] CDC: Guidelines for evaluating surveillance systems. In: *Morbidity and Mortality Weekly Report* 37 (1988), S. 1–18
- [CDC 2012] CDC: Epidemiological situation of tick-borne encephalitis in the European Union and European Free Trade Association countries / CDC. 2012. – Forschungsbericht
- [Cerny 1965] CERNY, V.: Some aspects of the tick-infestation of cultivated landscape. In: ROSICKY, B. (Hrsg.); HEYBERGER, K. (Hrsg.): *Theoretical questions of natural foci diseases. Proceedings of a symposium*. Czechoslovak Academy of Sciences, 1965, S. 313–317
- [Chivian u. a. 2003] CHIVIAN, E. ; HEALTH, Harvard Medical School. C. ; GLOBAL ENVIRONMENT the: *Biodiversity, its importance to human health: interim executive summary*. Center for Health and the Global Environment, Harvard Medical School, 2003
- [Clarke u. a. 1996] CLARKE, K. C. ; McLAFFERTY, S. L. ; TEMPALSKI, B. J.: On epidemiology and geographic information systems: a review and discussion of future directions. In: *Emerg Infect Dis* 2 (1996), Nr. 2, 85–92. <http://dx.doi.org/10.3201/eid0202.960202>. – DOI 10.3201/eid0202.960202
- [Commission in Climate and Vulnerability 2007] COMMISSION IN CLIMATE AND VULNERABILITY: Sweden Facing Climate Change -Threats and Opportunities. Version: 2007. <http://www.sweden.gov.se/sb/d/574/a/96002>. Ministry of the Environment, 2007. (SOU 2007:60). – Forschungsbericht
- [Cromley u. McLafferty 2011] CROMLEY, E.K. ; McLAFFERTY, S.L.: *GIS and Public Health, Second Edition*. Taylor & Francis Group, 2011
- [Cromley 2003] CROMLEY, Ellen K.: GIS and disease. In: *Annu Rev Public Health* 24 (2003), 7–24. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.publhealth.24.012902.141019>. – DOI 10.1146/annurev.publhealth.24.012902.141019
- [Daniel u. a. 1976] DANIEL, M. ; CERNY, V. ; DUSBABEK, F. ; HONZAKOVA, E. ; OLEJNICEK, J.: Influence of the microclimate life cycle of the common tick *Ixodes ricinus* (L.) in thermophilic oak forest. In: *Folia Parasitol.* 23 (1976), S. 327–342
- [Daniel u. a. 2003] DANIEL, M. ; DANIELOVÁ, V. ; KRÍZ, B. ; JIRSA, A. ; NOZICKA, J.: Shift of the tick *Ixodes ricinus* and tick-borne encephalitis to higher altitudes in central Europe. In: *Eur J Clin Microbiol Infect Dis* 22 (2003), May, Nr. 5, 327–328. <http://dx.doi.org/10.1007/s10096-003-0918-2>. – DOI 10.1007/s10096-003-0918-2
- [Daniel u. a. 2010] DANIEL, Milan ; VRÁBLÍK, Tomáš ; VALTER, Jaroslav ; KRÍZ, Bohumír ; DANIELOVÁ, Vlasta: The TICKPRO computer program for predicting *Ixodes ricinus* host-seeking activity and the warning system published on websites. In: *Cent Eur J Public Health* 18 (2010), Dec, Nr. 4, S. 230–236

- [Danielová u. a. 2004] DANIELOVÁ, V.; KRÍZ, B.; DANIEL, M.; BENES, C.; VALTER, J.; KOTT, I.: Effects of climate change on the incidence of tick-borne encephalitis in the Czech Republic in the past two decades. In: *Epidemiol Mikrobiol Imunol* 53 (2004), Nov, Nr. 4, S. 174–181
- [Danielová u. a. 2006] DANIELOVÁ, Vlasta; RUDENKO, Natalia; DANIEL, Milan; HOLUBOVÁ, Jaroslava; MATERNA, Jan; GOLOVCHENKO, Maryna; SCHWARZOVÁ, Lucie: Extension of *Ixodes ricinus* ticks and agents of tick-borne diseases to mountain areas in the Czech Republic. In: *International Journal of Medical Microbiology* 296, Supplement 1 (2006), Mai, Nr. 0, 48–53. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438422106000865>. – ISSN 1438–4221
- [Daszak u. a. 2001] DASZAK, P.; CUNNINGHAM, A. A.; HYATT, A. D.: Anthropogenic environmental change and the emergence of infectious diseases in wildlife. In: *Acta Trop* 78 (2001), Feb, Nr. 2, S. 103–116
- [Dautel u. a. 2008] DAUTEL, Hans; DIPPPEL, Cornelia; KÄMMER, Daniel; WERKHAUSEN, Anita; KAHL, Olaf: Winter activity of *Ixodes ricinus* in a Berlin forest. In: *International Journal of Medical Microbiology* 298 (2008), September, Nr. Supplement 1, S. 50–54. – ISSN 1438–4221
- [Denecke 2012] DENECKE, Kerstin: Infektionskrankheiten: Frühwarnung aus dem Netz. In: *Dtsch Arztebl International* 109 (2012), Nr. 15, 756. <http://www.aerzteblatt.de/int/article.asp?id=124880>
- [Desselberger 2000] DESSELBERGER, U.: Emerging and re-emerging infectious diseases. In: *J Infect* 40 (2000), Jan, Nr. 1, S. 3–15
- [Dobbertin u. Giuggiola 2006] DOBBERTIN, M.; GIUGGIOLA, A.: Baumwachstum und erhöhte Temperaturen. In: *Forum für Wissen, Wald und Klimawandel*. 2006, S. 35–45
- [Dobler u. a. 2005] DOBLER, G.; ESSBAUER, S.; WÖLFEL, R.; PFEFFER, M.: Interaktion von Ökologie und Epideiologie am Beispiel der Frühsommer-Meningoencephalitis. In: BAYERISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): *Rundgespräche der Kommission für Ökologie: Zur Ökologie von Infektionskrankheiten* Bd. 29. München: Pfeil, 2005, S. 43–52
- [Dobler u. a. 2012] DOBLER, Gerhard; GNIEL, Dieter; PETERMANN, Robert; PFEFFER, Martin: Epidemiology and distribution of tick-borne encephalitis. In: *Wien Med Wochenschr* 162 (2012), Jun, Nr. 11-12, 230–238. <http://dx.doi.org/10.1007/s10354-012-0100-5>. – DOI 10.1007/s10354-012-0100-5
- [Dobson u. Randolph 2011] DOBSON, Andrew D. M.; RANDOLPH, Sarah E.: Modelling the effects of recent changes in climate, host density and acaricide treatments on population dynamics of *Ixodes ricinus* in the UK. In: *Journal of Applied Ecology* 48 (2011), S. 1029–1037
- [DSW 1999] DSW; DSW - DEUTSCHE STIFTUNG WELTBEVÖLKERUNG (Hrsg.): *Weltbevölkerung und Wald: Entwaldung schreitet voran*. DSW - Deutsche Stiftung Weltbevölkerung, 1999. – 2 S.

- [Dugas u. a. 2012] DUGAS, Andrea F. ; HSIEH, Yu-Hsiang ; LEVIN, Scott R. ; PINES, Jesse M. ; MAREINISS, Darren P. ; MOHAREB, Amir ; GAYDOS, Charlotte A. ; PERL, Trish M. ; ROTHMAN, Richard E.: Google Flu Trends: correlation with emergency department influenza rates and crowding metrics. In: *Clin Infect Dis* 54 (2012), Feb, Nr. 4, 463–469. <http://dx.doi.org/10.1093/cid/cir883>. – DOI 10.1093/cid/cir883
- [Ebert u. Fleischer 2005] EBERT, B. ; FLEISCHER, B.: Globale Erwärmung und Ausbreitung von Infektionskrankheiten. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 1 (2005), S. 622–632
- [Eckert u. a. 2008] ECKERT, J. ; FRIEDHOFF, K.T. ; ZAHNER, H. ; DEPLAZES, P.: *Lehrbuch der Parasitologie für die Tiermedizin*. Stuttgart : Enke Verlag, 2008
- [Egyeda u. a. 2012] EGYEDA, László ; ÉLÖA, Péter ; SRÉTER-LANCZB, Zsuzsanna ; SZÉLLC, Zoltán ; BALOGHD, Zsuzsanna ; SRÉTERC, Tamás: Seasonal activity and tick-borne pathogen infection rates of Ixodes ricinus ticks in Hungary. In: *Ticks and Tick-borne Diseases* 3 (2012), April, Nr. 2, 90–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.01.002>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2012.01.002. – ISSN 1877-959X
- [Eisen u. Eisen 2011] EISEN, Lars ; EISEN, Rebecca J.: Using geographic information systems and decision support systems for the prediction, prevention, and control of vector-borne diseases. In: *Annu Rev Entomol* 56 (2011), 41–61. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev-ento-120709-144847>. – DOI 10.1146/annurev-ento-120709-144847
- [ESA 2001] ESA: *World urbanization prospect. The 2001 revision*. Online. <http://www.un.org/esa/population/publications/wup2001/wup2001dh.pdf>. Version: 2001
- [Estrada-Peña 2001] ESTRADA-PEÑA, A.: Distribution, abundance, and habitat preferences of Ixodes ricinus (Acari: Ixodidae) in northern Spain. In: *J Med Entomol* 38 (2001), May, Nr. 3, S. 361–370
- [Estrada-Peña u. a. 2004] ESTRADA-PEÑA, A. ; MARTINEZ, J. M. ; ACEDO, C. S. ; QUILEZ, J. ; CACHO, E. D.: Phenology of the tick, Ixodes ricinus, in its southern distribution range (central Spain). In: *Med Vet Entomol* 18 (2004), Dec, Nr. 4, 387–397. <http://dx.doi.org/10.1111/j.0269-283X.2004.00523.x>. – DOI 10.1111/j.0269-283X.2004.00523.x
- [Estrada-Peña u. a. 2012] ESTRADA-PEÑA, Agustín ; AYLLÓN, Nieves ; DE LA FUENTE, José: Impact of climate trends on tick-borne pathogen transmission. In: *Front Physiol* 3 (2012), 64. <http://dx.doi.org/10.3389/fphys.2012.00064>. – DOI 10.3389/fphys.2012.00064
- [Europäisches Parlament und Rat der EU 1998] EUROPÄISCHES PARLAMENT UND RAT DER EU: *Entscheidung Nr. 2119/98/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. September 1998 über die Schaffung eines Netzes für die epidemiologische Überwachung und die Kontrolle übertragbarer Krankheiten in der Europäischen Gemeinschaft*. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften, 1998. – L268/1 - L268/6
- [Fahrmeir u. a. 2007] FAHRMEIR, L. ; KNEIB, T. ; LANG, S.: *Regression*. Springer Verlag, 2007. – 501 S.

- [Fehr u. a. 2005] FEHR, R. ; NEUS, H. ; HEUDORF, U. ; FEHR, R. (Hrsg.) ; NEUS, H. (Hrsg.) ; HEUDORF, U. (Hrsg.): *Gesundheit und Umwelt. Ökologische Prävention und Gesundheitsförderung*. Verlag Hans Huber, 2005
- [Fish u. Childs 2009] FISH, Durland ; CHILDS, James E.: Community-based prevention of Lyme disease and other tick-borne diseases through topical application of acaricide to white-tailed deer: background and rationale. In: *Vector Borne Zoonotic Dis* 9 (2009), Aug, Nr. 4, 357–364. <http://dx.doi.org/10.1089/vbz.2009.0022>. – DOI 10.1089/vbz.2009.0022
- [Fotheringham u. a. 2002] FOTHERINGHAM, A.S. ; BRUNSDON, C. ; CHARLTON, M.E.: *Geographically Weighted Regression: The Analysis of Spatially Varying Relationships*. Chichester : Wiley, 2002
- [Frey u. Lösch 2003] FREY, Wolfgang ; LÖSCH, Rainer: *Lehrbuch der Geobotanik: Pflanze und Vegetation in Raum und Zeit*. Spektrum Akademischer Verlag, 2003
- [Gaston 2003] GASTON, K.J.: *The structure and dynamics of geographic ranges*. Oxford : Oxford University Press, 2003
- [Gilbert 2010] GILBERT, Lucy: Altitudinal patterns of tick and host abundance: a potential role for climate change in regulating tick-borne diseases? In: *Oecologia* 162 (2010), Jan, Nr. 1, 217–225. <http://dx.doi.org/10.1007/s00442-009-1430-x>. – DOI 10.1007/s00442-009-1430-x
- [Ginsberg u. a. 2004] GINSBERG, Howard S. ; ZHIOUA, Elyes ; MITRA, Shaibal ; FISCHER, James ; BUCKLEY, P. A. ; VERRET, Frank ; UNDERWOOD, H. B. ; BUCKLEY, Francine G.: Woodland Type and Spatial Distribution of Nymphal *Ixodes scapularis* (Acari: Ixodidae). In: *Environmental Entomology* 33 (2004), Oktober, Nr. 5, 1266–1273. <http://dx.doi.org/10.1603/0046-225X-33.5.1266>. – DOI 10.1603/0046-225X-33.5.1266. – ISSN 0046-225X
- [Ginsberg u. a. 2009] GINSBERG, Jeremy ; MOHEBBI, Matthew H. ; PATEL, Rajan S. ; BRAMMER, Lynnette ; SMOLINSKI, Mark S. ; BRILLIANT, Larry: Detecting influenza epidemics using search engine query data. In: *Nature* 457 (2009), Feb, Nr. 7232, 1012–1014. <http://dx.doi.org/10.1038/nature07634>. – DOI 10.1038/nature07634
- [Githeko u. a. 2012] GITHEKO, A. K. ; OTOTO, E. N. ; GUIYUN, Yan: Progress towards understanding the ecology and epidemiology of malaria in the western Kenya highlands: opportunities and challenges for control under climate change risk. In: *Acta Trop* 121 (2012), Jan, Nr. 1, 19–25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2011.10.002>. – DOI 10.1016/j.actatropica.2011.10.002
- [Glass u. a. 1995] GLASS, G. E. ; SCHWARTZ, B. S. ; MORGAN, J. M. ; JOHNSON, D. T. ; NOY, P. M. ; ISRAEL, E.: Environmental risk factors for Lyme disease identified with geographic information systems. In: *Am J Public Health* 85 (1995), Jul, Nr. 7, S. 944–948
- [Godfrey u. Randolph 2011] GODFREY, Elinor R. ; RANDOLPH, Sarah E.: Economic downturn results in tick-borne disease upsurge. In: *Parasit Vectors* 4 (2011), 35. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-4-35>. – DOI 10.1186/1756-3305-4-35

- [Gratz 1999] GRATZ, N.G.: Emerging and resurging vector-borne diseases. In: *Annu. Rev. Entomol.* 44 (1999), S. 51–75
- [Gray u. a. 2009] GRAY, J. S. ; DAUTEL, H. ; ESTRADA-PEÑA, A. ; KAHL, O. ; LINDGREN, E.: Effects of climate change on ticks and tick-borne diseases in Europe. In: *Interdiscip Perspect Infect Dis* 2009 (2009), 593232. <http://dx.doi.org/10.1155/2009/593232>. – DOI 10.1155/2009/593232
- [Gray 2002] GRAY, Jeremy S.: Biology of Ixodes species ticks in relation to tick-borne zoonoses. In: *Wien Klin Wochenschr* 114 (2002), Jul, Nr. 13-14, S. 473–478
- [Gray 2008] GRAY, Jeremy S.: Ixodes ricinus seasonal activity: Implications of global warming indicated by revisiting tick and weather data. In: *International Journal of Medical Microbiology* 298 (2008), September, Nr. Supplement 1, 19–24. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1438422107001695>. – ISSN 1438–4221
- [Green u. a. 1996] GREEN, Lawrence W. ; RICHARD, Lucie ; POTVIN, Louise: Ecological Foundations of Health Promotion. In: *American Journal of Health Promotion* 10 (1996), März, Nr. 4, 270–281. <http://dx.doi.org/10.4278/0890-1171-10.4.270>. – DOI 10.4278/0890-1171-10.4.270. – ISSN 0890-1171
- [Gubler u. a. 2001] GUBLER, D. J. ; REITER, P. ; EBI, K. L. ; YAP, W. ; NASCI, R. ; PATZ, J. A.: Climate variability and change in the United States: potential impacts on vector- and rodent-borne diseases. In: *Environ Health Perspect* 109 Suppl 2 (2001), May, S. 223–233
- [Gutzwiller u. Jeanneret 1999] GUTZWILLER, F. (Hrsg.) ; JEANNERET, O. (Hrsg.): *Sozial- und Präventivmedizin - Public Health*. Bern; Göttingen; Toronto; Seattle : Verlag Hans Huber, 1999. – 518 S.
- [Haemig u. a. 2008] HAEMIG, Paul D. ; LITHNER, Stefan ; SJOSTEDT DE LUNA, Sara ; LUNDKVIST, Åke ; WALDENSTRÖM, Jonas ; HANSSON, Lennart ; ARNEBORN, Malin ; OLSEN, Björn: Red fox and tick-borne encephalitis (TBE) in humans: can predators influence public health? In: *Scand J Infect Dis* 40 (2008), Nr. 6-7, 527–532. <http://dx.doi.org/10.1080/00365540701805446>. – DOI 10.1080/00365540701805446
- [Haemig u. a. 2011] HAEMIG, Paul D. ; SJOSTEDT DE LUNA, S. ; GRAFSTRÖM, A. ; LITHNER, Stefan ; LUNDKVIST, Åke ; WALDENSTRÖM, Jonas ; KINDBERG, Jonas ; STEDT, Johan ; OLSÉN, Björn: Forecasting risk of tick-borne encephalitis (TBE): using data from wildlife and climate to predict next year's number of human victims. In: *Scand J Infect Dis* 43 (2011), May, Nr. 5, 366–372. <http://dx.doi.org/10.3109/00365548.2011.552072>. – DOI 10.3109/00365548.2011.552072
- [Haines u. a. 2000] HAINES, A. ; MCMICHAEL, A.J. ; EPSTEIN, P.R.: Environment and health: 2. Global climate change and health. In: *Canadian Medical Association Journal* 6 (2000), S. 729–34

- [Hancock u. a. 2011] HANCOCK, Penelope A. ; BRACKLEY, Robert ; PALMER, Stephen C F.: Modelling the effect of temperature variation on the seasonal dynamics of *Ixodes ricinus* tick populations. In: *Int J Parasitol* 41 (2011), Apr, Nr. 5, 513–522. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpara.2010.12.012>. – DOI 10.1016/j.ijpara.2010.12.012
- [Hartung 2004] HARTUNG, M.: *Epidemiologische Situation der Zoonosen in Deutschland im Jahr 2003*. Bundesinstitut für Risikobewertung BfR-Wissenschaft, 2004. – 94 S.
- [Harvell u. a. 2002] HARVELL, C. D. ; MITCHELL, Charles E. ; WARD, Jessica R. ; ALTIZER, Sonia ; DOBSON, Andrew P. ; OSTFELD, Richard S. ; SAMUEL, Michael D.: Climate warming and disease risks for terrestrial and marine biota. In: *Science* 296 (2002), Jun, Nr. 5576, 2158–2162. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1063699>. – DOI 10.1126/science.1063699
- [Hay u. Lennon 1999] HAY, S.I. ; LENNON, J.J.: Deriving meteorological variables across Africa for the study and control of vector-borne disease: a comparison of remote sensing and spatial interpolation of climate. In: *Trop.Med.Int.Health* 1 (1999), S. 58–71
- [Heineberg 2000] HEINEBERG, Heinz: *Grundriss Allgemeine Geographie: Stadtgeographie*. Paderborn : UTB, 2000. – 328 S.
- [Hellmeier u. Jöckel 2005] HELLMEIER, W. ; JÖCKEL, K.-H.: Monitoring und Surveillance. In: FEHR, R. (Hrsg.) ; NEUS, H. (Hrsg.) ; HEUDORF, U. (Hrsg.): *Gesundheit und Umwelt: Ökologische Prävention und Gesundheitsförderung*. Bern : Huber, 2005, Kapitel 2.6, S. 168–181
- [Herrmann u. Gern 2012] HERRMANN, C. ; GERN, L.: Do the level of energy reserves, hydration status and *Borrelia* infection influence walking by *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) ticks? In: *Parasitology* 139 (2012), Mar, Nr. 3, 330–337. <http://dx.doi.org/10.1017/S0031182011002095>. – DOI 10.1017/S0031182011002095
- [Hillyard 1998] HILLYARD, P.D. ; HILLYARD, P.D. (Hrsg.): *Ticks of North-West Europe*. Shrewsbury : Field Studies Council, 1998. – 178 S.
- [Holzmann u. a. 2009] HOLZMANN, H. ; ABERLE, S. W. ; STIASNY, K. ; WERNER, P. ; MISCHAK, A. ; ZAINER, B. ; NETZER, M. ; KOPPI, S. ; BECHTER, E. ; HEINZ, F. X.: Tick-borne Encephalitis from Eating Goat Cheese in a Mountain Region of Austria. In: *Emerg Infect Dis* 15 (2009), Oktober, Nr. 10, S. 1671–3
- [Horst 2003] HORST, Hans ; HORST, Hans (Hrsg.): *Zeckenborreliose, Lyme-Krankheit bei Mensch und Tier*. 4. Balingen : Spitta, 2003. – 265 S.
- [Hubálek u. a. 2003] HUBÁLEK, Zdenek ; HALOUZKA, Jirí ; JURICOVÁ, Zina: Host-seeking activity of ixodid ticks in relation to weather variables. In: *J Vector Ecol* 28 (2003), Dec, Nr. 2, S. 159–165
- [Hulth u. Rydevik 2011] HULTH, Anette ; RYDEVIK, Gustaf: GET WELL: an automated surveillance system for gaining new epidemiological knowledge. In: *BMC Public Health* 11 (2011), 252. <http://dx.doi.org/10.1186/1471-2458-11-252>. – DOI 10.1186/1471-2458-11-252

- [Hurrelmann u. a. 2004] HURRELMANN, K. ; KLOTZ, T. ; HAISCH, J.: Einführung: Krankheitsprävention und Gesundheitsförderung. In: HURRELMANN, K. (Hrsg.) ; KLOTZ, T. (Hrsg.) ; HAISCH, J. (Hrsg.): *Lehrbuch Prävention und Gesundheitsförderung*. Verlag Hans Huber, 2004, S. 413
- [Hurrelmann u. Razum 2012] HURRELMANN, K. (Hrsg.) ; RAZUM, O. (Hrsg.): *Handbuch Gesundheitswissenschaften*. 5. Beltz Juventa, 2012. – 1216 S.
- [IfSG 2000] IfSG: Gesetz zur Verhütung und Bekämpfung von Infektionskrankheiten beim Menschen. (2000). – 1045
- [Jaenson u. a. 1994] JAENSON, T. G. ; TÄLLEKLINT, L. ; LUNDQVIST, L. ; OLSEN, B. ; CHIRICO, J. ; MEJLON, H.: Geographical distribution, host associations, and vector roles of ticks (Acari: Ixodidae, Argasidae) in Sweden. In: *J Med Entomol* 31 (1994), Mar, Nr. 2, S. 240–256
- [Jaenson u. a. 2012a] JAENSON, Thomas ; HJERTQVIST, Marika ; LUNDKVIST Åke: År 2011 toppar TBE - incidensen Rådjursstammens variation i storlek och vädret är nyckelfaktorer. In: *Läkartidningen* 109 (2012), Nr. 7, S. 343–346
- [Jaenson u. Lindgren 2011] JAENSON, Thomas G T. ; LINDGREN, Elisabet: The range of *Ixodes ricinus* and the risk of contracting Lyme borreliosis will increase northwards when the vegetation period becomes longer. In: *Ticks Tick Borne Dis* 2 (2011), Mar, Nr. 1, 44–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.10.006>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2010.10.006
- [Jaenson u. a. 2012b] JAENSON, Thomas G. ; HJERTQVIST, Marika ; BERGSTRÖM, Tomas ; LUNDKVIST, Ake: Why is tick-borne encephalitis increasing? A review of the key factors causing the increasing incidence of human TBE in Sweden. In: *Parasit Vectors* 5 (2012), 184. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-5-184>. – DOI 10.1186/1756-3305-5-184
- [Jaenson u. a. 2012c] JAENSON, Thomas G. ; JAENSON, David G. ; EISEN, Lars ; PETERSSON, Erik ; LINDGREN, Elisabet: Changes in the geographical distribution and abundance of the tick *Ixodes ricinus* during the past 30 years in Sweden. In: *Parasit Vectors* 5 (2012), Jan, Nr. 1, 8. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-5-8>. – DOI 10.1186/1756-3305-5-8
- [Jensen u. Jespersen 2005] JENSEN, P. M. ; JESPERSEN, J. B.: Five decades of tick-man interaction in Denmark—an analysis. In: *Exp Appl Acarol* 35 (2005), Nr. 1-2, S. 131–146
- [Jensenius u. a. 2006] JENSENIUS, Mogens ; PAROLA, Philippe ; RAOULT, Didier: Threats to international travellers posed by tick-borne diseases. In: *Travel Med Infect Dis* 4 (2006), Jan, Nr. 1, 4–13. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tmaid.2004.11.003>. – DOI 10.1016/j.tmaid.2004.11.003
- [Jerrett u. a. 2010] JERRETT, Michael ; GALE, Sara ; KONTGIS, Caitlin: Spatial modeling in environmental and public health research. In: *Int J Environ Res Public Health* 7 (2010), Apr, Nr. 4, 1302–1329. <http://dx.doi.org/10.3390/ijerph7041302>. – DOI 10.3390/ijerph7041302

- [Jones u. a. 2008] JONES, Kate E. ; PATEL, Nikkita G. ; LEVY, Marc A. ; STOREYGARD, Adam ; BALK, Deborah ; GITTELMAN, John L. ; DASZAK, Peter: Global trends in emerging infectious diseases. In: *Nature* 451 (2008), Feb, Nr. 7181, 990–993. <http://dx.doi.org/10.1038/nature06536>. – DOI 10.1038/nature06536
- [Jongejan u. Uilenberg 2004] JONGEJAN, F. ; UILENBERG, G.: The global importance of ticks. In: *Parasitology* 129 Suppl (2004), S. S3–14
- [Jore u. a. 2011] JORE, Solveig ; VILJUGREIN, Hildegunn ; HOFSHAGEN, Merete ; BRUN-HANSEN, Hege ; KRISTOFFERSEN, Anja B. ; NYGÅRD, Karin ; BRUN, Edgar ; OTTESEN, Preben ; SÆVIK, Bente K. ; YTREHUS, Bjørnar: Multi-source analysis reveals latitudinal and altitudinal shifts in range of *Ixodes ricinus* at its northern distribution limit. In: *Parasites & Vectors* 84 (2011), Nr. 4
- [Jouda u. a. 2004] JOUDA, Fatima ; PERRET, Jean-Luc ; GERN, Lise: *Ixodes ricinus* density, and distribution and prevalence of *Borrelia burgdorferi sensu lato* infection along an altitudinal gradient. In: *J Med Entomol* 41 (2004), Mar, Nr. 2, S. 162–169
- [Kahl u. Knülle 1988] KAHL, O. ; KNÜLLE, W.: Wirtssuchaktivität der Schildzecke *Ixodes ricinus* (Acari, Ixodidae) und ihre Durchseuchung mit Lyme-Spirochäten und FSME-Virus in Berlin (West.). In: *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Entomol.* 6 (1988), S. 223–225
- [Kampen 2005] KAMPEN, H.: Vektor-übertragene Infektionskrankheiten im Vormarsch. In: *Naturwissenschaftliche Rundschau* 4 (2005), S. 181–189
- [Kassem u. a. 2012] KASSEM, Hala A. ; SIRI, Jose ; KAMAL, Hany A. ; WILSON, Mark L.: Environmental factors underlying spatial patterns of sand flies (Diptera: Psychodidae) associated with leishmaniasis in southern Sinai, Egypt. In: *Acta Trop* 123 (2012), Mar, Nr. 1, 8–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actatropica.2012.02.067>. – DOI 10.1016/j.actatropica.2012.02.067
- [Köck u. a. 2011] KÖCK, Robin ; MELLMANN, Alexander ; SCHAUMBURG, Frieder ; FRIEDRICH, Alexander W. ; KIPP, Frank ; BECKER, Karsten: The epidemiology of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* (MRSA) in Germany. In: *Dtsch Arztebl Int* 108 (2011), Nov, Nr. 45, 761–767. <http://dx.doi.org/10.3238/arztebl.2011.0761>. – DOI 10.3238/arztebl.2011.0761
- [Khormi u. Kumar 2012] KHORMI, Hassan M. ; KUMAR, Lalit: Assessing the risk for dengue fever based on socioeconomic and environmental variables in a geographical information system environment. In: *Geospatial Health* 6 (2012), Nr. 2, 171–176. <http://www.geospatialhealth.unina.it/articles/v6i2/gh-v6i2-04-khormi.pdf>
- [Kiehl 2011] KIEHL, Wolfgang (Hrsg.): *Steckbriefe seltener und importierter Infektionskrankheiten*. RKI, 2011
- [Kiffner u. a. 2012] KIFFNER, C. ; VOR, T. ; HAGEDORN, P. ; NIEDRIG, M. ; RÜHE, F.: Determinants of tick-borne encephalitis virus antibody presence in roe deer (*Capreolus capreolus*) sera. In: *Med Vet Entomol* 26 (2012), Mar, Nr. 1, 18–25. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2915.2011.00961.x>. – DOI 10.1111/j.1365-2915.2011.00961.x

- [Kiffner u. a. 2011] KIFFNER, Christian ; VOR, Torsten ; HAGEDORN, Peter ; NIEDRIG, Matthias ; RÜHE, Ferdinand: Factors affecting patterns of tick parasitism on forest rodents in tick-borne encephalitis risk areas, Germany. In: *Parasitol Res* 108 (2011), Feb, Nr. 2, 323–335. <http://dx.doi.org/10.1007/s00436-010-2065-x>. – DOI 10.1007/s00436-010-2065-x
- [Kiffner u. a. 2010] KIFFNER, Christian ; ZUCCHINI, Walter ; SCHOMAKER, Philipp ; VOR, Torsten ; HAGEDORN, Peter ; NIEDRIG, Matthias ; RÜHE, Ferdinand: Determinants of tick-borne encephalitis in counties of southern Germany, 2001-2008. In: *Int J Health Geogr* 9 (2010), 42. <http://dx.doi.org/10.1186/1476-072X-9-42>. – DOI 10.1186/1476-072X-9-42
- [Kirch 2005] KIRCH, W.: Prevention and Health Promotion. In: *Journal of Public Health* 13 (2005), November, Nr. 6, 283-284. <http://www.springerlink.com/openurl.asp?genre=article&id=doi:10.1007/s10389-005-0135-9>
- [Kistemann u. Exner 2000] KISTEMANN, Thomas ; EXNER, Martin: Bedrohung durch Infektionskrankheiten? Risikoabschätzung und Kontrollstrategien. In: *Deutsches Ärzteblatt* 97 (2000), S. 251–260
- [KIT 2012] KIT ; INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE UND GEOÖKOLOGIE I/II DES KARLSRUHER INSTITUTS FÜR TECHNOLOGIE (KIT) (Hrsg.): *Ökologie von Zecken als Überträger von Krankheitserregern in Baden-Württemberg*. 2012
- [Klaus u. a. 2010a] KLAUS, Christine ; HOFFMANN, Bernd ; BEER, Martin ; MÜLLER, Werner ; STARK, Bernhard ; BADER, Wolf ; STIASNY, Karin ; HEINZ, Franz X. ; SÜSS, Jochen: Seroprevalence of tick-borne encephalitis (TBE) in naturally exposed monkeys (*Macaca sylvanus*) and sheep and prevalence of TBE virus in ticks in a TBE endemic area in Germany. In: *Ticks and Tick-borne Diseases* 1 (2010), September, Nr. 3, 141–144. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877959X1000052X>. – ISSN 1877–959X
- [Klaus u. a. 2010b] KLAUS, Christine ; HOFFMANN, Bernd ; MOOG, Udo ; SCHAU, Ute ; BEER, Martin ; SÜSS, Jochen: Can goats be used as sentinels for tick-borne encephalitis (TBE) in nonendemic areas? Experimental studies and epizootiological observations. In: *Berl Munch Tierärztl Wochenschr* 123 (2010), Nr. 11-12, S. 441–445
- [Kolip 2002] KOLIP, P. (Hrsg.): *Gesundheitswissenschaften: Eine Einführung*. Weinheim; München : Juventa Verlag, 2002. – 294 S.
- [Kolonin 2009] KOLONIN, G.V.: *Fauna of Ixodid ticks of the world (Acari, Ixodidae)*. Moskau, 2009 <http://www.kolonin.org/>
- [Korenberg u. a. 1999] KORENBERG, E. I. ; KOVALEVSKII, Y. V. ; KARAVANOV, A. S. ; MOSKVITINA, G. G.: Mixed infection by tick-borne encephalitis virus and *Borrelia* in ticks. In: *Medical and Veterinary Entomology* 13 (1999), Nr. 2, 204–208. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2915.1999.00166.x>. – ISSN 1365–2915
- [Koslowski u. a. 2004] KOSLOWSKI, S. ; STAUBACH, C. ; KRAMER, M. ; WIELER, L.H.: Risk assessment of bluetongue disease incursion into Germany using geographic information system (GIS). In: *Berl Munch Tierärztl Wochenschr*. 17 (2004), Nr. 5-6, S. 214–225

- [Krauss u. a. 2004] KRAUSS, H. ; WEBER, A. ; APPEL, M. ; ENDERS, B. ; GRAEVENITZ, A. v. ; ISENBERG, H. D. ; SCHIEFER, H. G. ; SLENCZKA, W. ; ZAHNER, H. ; KRAUSS, H. (Hrsg.): *Zoonosen: Von Tier zu Mensch übertragbare Infektionskrankheiten*. Deutsche Ärzte-Verlag Köln, 2004. – 605 S.
- [Kriz u. a. 2004] KRIZ, B. ; BENES, C. ; DANIELOVÁ, V. ; DANIEL, M.: Socio-economic conditions and other anthropogenic factors influencing tick-borne encephalitis incidence in the Czech Republic. In: *Int J Med Microbiol* 293 Suppl 37 (2004), Apr, S. 63–68
- [Krämer u. Reintjes 2003] KRÄMER, A ; REINTJES, R.: *Infektionsepidemiologie: Methoden, Moderne Surveillance, Mathematische Modelle, Global Public Health*. Springer, 2003
- [Kunze 2008] KUNZE, Ursula: Is there a need for a travel vaccination against tick-borne encephalitis? In: *Travel Med Infect Dis* 6 (2008), Nov, Nr. 6, 380–383. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tmaid.2008.06.004>. – DOI 10.1016/j.tmaid.2008.06.004
- [Kurtenbach u. a. 1995] KURTENBACH, K. ; KAMPEN, H. ; DIZIJ, A. ; ARNDT, S. ; SEITZ, H. M. ; SCHAIBLE, U. E. ; SIMON, M. M.: Infestation of rodents with larval *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) is an important factor in the transmission cycle of *Borrelia burgdorferi* s.l. in German woodlands. In: *J Med Entomol* 32 (1995), Nov, Nr. 6, S. 807–817
- [Kurth 2003] KURTH, R.: Die Globalisierung der Infektionskrankheiten. In: *Hämotherapie* 1 (2003), S. 6–11
- [Kurth 2004] KURTH, R.: Das Auftreten alter und neuer Seuchen als Konsequenz menschlichen Handelns. In: *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 7 (2004), S. 611–621
- [Laaser u. a. 1993] LAASER, U. ; HURRELMANN, K. ; WOLTERS, P.: Prävention, Gesundheitsförderung und Gesundheitserziehung. In: HURRELMANN, K. (Hrsg.) ; LAASER, U. (Hrsg.): *Gesundheitswissenschaften: Lehrbuch für Lehre, Forschung und Praxis*. Beltz, 1993, S. 449
- [Labuda u. a. 1993] LABUDA, M. ; NUTTALL, P. A. ; KOZUCH, O. ; ELECKOVÁ, E. ; WILLIAMS, T. ; ZUFFOVÁ, E. ; SABÓ, A.: Non-viraemic transmission of tick-borne encephalitis virus: a mechanism for arbovirus survival in nature. In: *Experientia* 49 (1993), Sep, Nr. 9, S. 802–805
- [Labuda u. Randolph 1999] LABUDA, Milan ; RANDOLPH, Sarah E.: Survival strategy of tick-borne encephalitis virus: Cellular basis and environmental determinants. In: *Zentralblatt für Bakteriologie* 289 (1999), dec, Nr. 57, 513–524. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S093488409980005X>. – ISSN 0934–8840
- [Lafferty 2009] LAFFERTY, Kevin D.: The ecology of climate change and infectious diseases. In: *Ecology* 90 (2009), Apr, Nr. 4, S. 888–900
- [Lapointe u. a. 2012] LAPOINTE, Dennis A. ; ATKINSON, Carter T. ; SAMUEL, Michael D.: Ecology and conservation biology of avian malaria. In: *Ann NY Acad Sci* 1249 (2012), Feb, 211–226. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1749-6632.2011.06431.x>. – DOI 10.1111/j.1749–6632.2011.06431.x

- [Laurenson u. a. 2003] LAURENSEN, M. K. ; NORMAN, R. A. ; GILBERT, L. ; REID, H. W. ; HUDSON, P. J.: Identifying Disease Reservoirs in Complex Systems: Mountain Hares as Reservoirs of Ticks and Louping-III Virus, Pathogens of Red Grouse. In: *Journal of Animal Ecology* 72 (2003), Januar, Nr. 1, 177–185. <http://www.jstor.org/stable/3505554>. – ISSN 00218790
- [Leibundgut u. Abraham 2001] LEIBUNDGUT, C.; ABRAHAM, V.: *WaBoA*. Verlagsauslieferung der LfU, 2001 (Bd. 1)
- [Li u. a. 2012] LI, Sen ; HEYMAN, Paul ; COCHEZ, Christel ; SIMONS, Leopold ; VANWAMBEKE, Sophie O.: A multi-level analysis of the relationship between environmental factors and questing *Ixodes ricinus* dynamics in Belgium. In: *Parasit Vectors* 5 (2012), 149. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-5-149>. – DOI 10.1186/1756-3305-5-149
- [Liebig u. Mumenthey 2005] LIEBIG, Wolfgang ; MUMENTHEY, Rolf-Dieter: *ArcGIS-ArcView9 Band 1: ArcGIS-Grundlagen*. Halmstad : Points Verlag, 2005. – 404 S.
- [Liebisch u. Liebisch 2003] LIEBISCH, A. ; LIEBISCH, G.: Biologie und Ökologie der Zecken. In: *Zeckenborreliose Lyme-Krankheit bei Mensch und Tier*. Horst, H., 2003, S. 31–47
- [Liebisch u. a. 1995] LIEBISCH, A. ; PLATE, B. ; LIEBISCH, G. ; DIETZLER, A.: Zum Vorkommen von Zecken *Ixodes ricinus* und deren Infektionen mit Erregern der Lyme-Borreliose in urbanen Lebensräumen am Beispiel des Stadtgebietes Hannover. In: *Immun. Infekt. Suppl.* 1 (1995), S. 156
- [Lindgren u. Gustafson 2001] LINDGREN, E. ; GUSTAFSON, R.: Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change. In: *Lancet* 358 (2001), Jul, Nr. 9275, S. 16–18
- [Lindgren u. a. 2000] LINDGREN, E. ; TÄLLEKLINT, L. ; POLFELDT, T.: Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick *Ixodes ricinus*. In: *Environ Health Perspect* 108 (2000), Feb, Nr. 2, S. 119–123
- [Lindgren u. a. 2012] LINDGREN, Elisabet ; ANDERSSON, Yvonne ; SUK, Jonathan E. ; SUDRE, Bertrand ; SEMENZA, Jan C.: Public health. Monitoring EU emerging infectious disease risk due to climate change. In: *Science* 336 (2012), Apr, Nr. 6080, 418–419. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1215735>. – DOI 10.1126/science.1215735
- [Lindström u. Jaenson 2003] LINDSTRÖM, Anders ; JAENSON, Thomas G T.: Distribution of the common tick, *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae), in different vegetation types in southern Sweden. In: *J Med Entomol* 40 (2003), Jul, Nr. 4, S. 375–378
- [Lode u. a. 2010] LODE, Hartmut ; STAHLMANN, Ralf ; WITTE, Wolfgang: *MRSA: Infektionen mit multiresistentem Staphylococcus aureus : Daten zur Epidemiologie, Diagnostik, Klinik und Therapie*. ZETT-Verlag, 2010
- [Lommano u. a. 2012] LOMMANO, E. ; BURRI, C. ; MAEDER, G. ; GUERNE, M. ; BASTIC, V. ; PATALAS, E. ; GERN, L.: Prevalence and Genotyping of Tick-Borne Encephalitis Virus in

- Questing Ixodes ricinus Ticks in a New Endemic Area in Western Switzerland. In: *Journal of Medical Entomology* 49 (2012), Nr. 1, 156–164. <http://dx.doi.org/10.1603/ME11044>. – DOI 10.1603/ME11044
- [Longley u. a. 2001] LONGLEY, Paul ; GOODCHILD, Michael ; MAGUIRE, David: *Geographic Information Systems and Science*. Wiley & Sons, 2001
- [LUBW 2003] LUBW: *Wald in Baden-Württemberg*. Online. http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/41576/15_wald.pdf. Version: 2003, Abruf: 14.12.2012
- [Lucius 2003] LUCIUS, R.: *Biodiversität von Parasiten - Positionspapiers zur Ausrichtung eines Forschungsnetzwerkes der DGP*. Online. http://www.dzg-ev.de/pdf%20Dateien/DGP_BioDiv.pdf. Version: 2003
- [Macleod 1932] MACLEOD, J.: The Bionomics of Ixodes ricinus L., The “Sheep Tick” of Scotland. In: *Parasitology* 24 (1932), Nr. 03, 382-400. <http://dx.doi.org/10.1017/S0031182000020795>. – DOI 10.1017/S0031182000020795
- [Maier 2001] MAIER, Walter A.: Mögliche Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Ausbreitung von primär humanmedizinisch relevanten Krankheitserregern über tierische Vektoren sowie auf die wichtigen Humanparasiten in Deutschland. In: *Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Aktionsprogramm „Umwelt und Gesundheit“*. Umweltbundesamtes, 2001 (Forschungsbericht 200 61 218/11), S. 1–389
- [McLafferty 2003] MCLAFFERTY, Sara L.: GIS and health care. In: *Annu Rev Public Health* 24 (2003), 25–42. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.publhealth.24.012902.141012>. – DOI 10.1146/annurev.publhealth.24.012902.141012
- [McMichael 2004] MCMICHAEL, A. J.: Environmental and social influences on emerging infectious diseases: past, present and future. In: *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 359 (2004), Jul, Nr. 1447, 1049–1058. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2004.1480>. – DOI 10.1098/rstb.2004.1480
- [McMichael u. Haines 1997] MCMICHAEL, A. J. ; HAINES, A.: Global climate change: the potential effects on health. In: *BMJ* 315 (1997), Sep, Nr. 7111, 805–809. <http://bmj.bmjournals.com/cgi/content/full/315/7111/805>
- [McMichael u. a. 2006] MCMICHAEL, Anthony J. ; WOODRUFF, Rosalie E. ; HALES, Simon: Climate change and human health: present and future risks. In: *Lancet* 367 (2006), Mar, Nr. 9513, 859–869. [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(06\)68079-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(06)68079-3). – DOI 10.1016/S0140-6736(06)68079-3
- [Medlock u. a. 2013] MEDLOCK, Jolyon M. ; HANSFORD, Kayleigh M. ; BORMANE, Antra ; DERDAKOVA, Marketa ; ESTRADA-PEÑA, Agustín ; GEORGE, Jean-Claude ; GOLOVL-JOVA, Irina ; JAENSON, Thomas G. ; JENSEN, Jens-Kjeld ; JENSEN, Per M. ; KAZIMIROVA, Maria ; OTEO, José A. ; PAPA, Anna ; PFISTER, Kurt ; PLANTARD, Olivier ; RANDOLPH,

- Sarah E. ; RIZZOLI, Annapaola ; SANTOS-SILVA, Maria M. ; SPRONG, Hein ; VIAL, Laurence ; HENDRICKX, Guy ; ZELLER, Herve ; VAN BORTEL, Wim: Driving forces for changes in geographical distribution of *Ixodes ricinus* ticks in Europe. In: *Parasit Vectors* 6 (2013), 1. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-6-1>. – DOI 10.1186/1756-3305-6-1
- [Meyer 2000] MEYER, R. ; MEYER, R. (Hrsg.): *Gesundheitsförderung statt Risikoprävention?: umweltbeeinflusste Erkrankungen als politische Herausforderung*. 189 S. rainer bohnenverlag, 2000. – 189 S.
- [Meyer-Kayser u. a. 2012] MEYER-KAYSER, Elisabeth ; HOFFMANN, Lothar ; SILAGHI, Cornelia ; PFISTER, Kurt ; MAHLING, Monia ; PASSOS, Lygia M F.: Dynamics of tick infestations in foxes in Thuringia, Germany. In: *Ticks Tick Borne Dis* 3 (2012), Sep, Nr. 4, 232–239. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2012.05.004>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2012.05.004
- [M'ikanatha u. a. 2013] M'IKANATHA, Nkuchia M. ; LYNFIELD, Ruth ; VAN BENEDEN, Chris A. ; VALK, Henriette de: *Infectious Disease Surveillance*. Wiley-Blackwell, 2013
- [Müller 1981] MÜLLER, Paul: *Arealsysteme und Biogeographie*. Stuttgart : Ulmer-Verlag, 1981
- [Müller u. Sauerwein 2010] MÜLLER, Ute ; SAUERWEIN, Helga: *Blauzungenkrankheit bei Rind und Schaf: Art und Umfang der entstehenden Verluste in der Produktion anhand von Beispielenbetrieben in Nordrhein-Westfalen sowie Monitoring der Impferfolge*. Landwirtschaftliche Fakultät der Universität Bonn, 2010 (Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes USL 162). – 56 S.
- [Morse 2004] MORSE, S. S.: Factors and determinants of disease emergence. In: *Rev Sci Tech* 23 (2004), Aug, Nr. 2, S. 443–451
- [Mullner u. a. 2004] MULLNER, Ross M. ; CHUNG, Kyusuk ; CROKE, Kevin G. ; MENSAH, Edward K.: Geographic information systems in public health and medicine. In: *J Med Syst* 28 (2004), Jun, Nr. 3, S. 215–221
- [Naidoo 2003] NAIDOO, J.: *Lehrbuch der Gesundheitsförderung*. Köln : Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung (BZgA), 2003. – 393 S.
- [Norte u. a. 2012] NORTE, A. C. ; DE CARVALHO, I L. ; RAMOS, J. A. ; GONÇALVES, M. ; GERN, L. ; NÚNCIO, M. S.: Diversity and seasonal patterns of ticks parasitizing wild birds in western Portugal. In: *Exp Appl Acarol* 58 (2012), Nov, Nr. 3, 327–339. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-012-9583-4>. – DOI 10.1007/s10493-012-9583-4
- [Nykiforuk u. Flaman 2011] NYKIFORUK, Candace I J. ; FLAMAN, Laura M.: Geographic information systems (GIS) for Health Promotion and Public Health: a review. In: *Health Promot Pract* 12 (2011), Jan, Nr. 1, 63–73. <http://dx.doi.org/10.1177/1524839909334624>. – DOI 10.1177/1524839909334624
- [Odolini u. a. 2012] ODOLINI, S. ; PAROLA, P. ; GKRIANIA-KLOTSAS, E. ; CAUMES, E. ; SCHLAGENHAUF, P. ; LÓPEZ-VÉLEZ, R. ; BURCHARD, G-D. ; SANTOS-O'CONNOR, F. ; WELD, L. ;

- VON SONNENBURG, F. ; FIELD, V. ; DE VRIES, P. ; JENSENIUS, M. ; LOUTAN, L. ; CASTELLI, F.: Travel-related imported infections in Europe, EuroTravNet 2009. In: *Clin Microbiol Infect* 18 (2012), May, Nr. 5, 468–474. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1469-0691.2011.03596.x>. – DOI 10.1111/j.1469-0691.2011.03596.x
- [Omeragic 2011] OMERAGIC, Jasmin: Ixodid ticks in Bosnia and Herzegovina. 53 (2011), Nr. 3, 301–309–. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-010-9402-8>. – ISSN 0168–8162
- [Papa u. a. 2008] PAPA, Anna ; PAVLIDOU, Vasiliki ; ANTONIADIS, Antonis: Greek goat encephalitis virus strain isolated from Ixodes ricinus, Greece. In: *Emerg Infect Dis* 14 (2008), Feb, Nr. 2, 330–332. <http://dx.doi.org/10.3201/eid1402.070889>. – DOI 10.3201/eid1402.070889
- [Parker u. Sommer 2011] PARKER, Richard (Hrsg.) ; SOMMER, Marni (Hrsg.): *Routledge Handbook of Global Public Health*. Routledge Chapman & Hall, 2011
- [Patz 2001] PATZ, A.J.: Public Health Risk Assessment linked to Climatic and Ecological Change. In: *Hum. Ecol. Risk Assess.* 7 (2001), Nr. 5, S. 1317–1327
- [Patz u. a. 2000] PATZ, J. A. ; MCGEEHIN, M. A. ; BERNARD, S. M. ; EBI, K. L. ; EPSTEIN, P. R. ; GRAMBSCH, A. ; GUBLER, D. J. ; REITHER, P. ; ROMIEU, I. ; ROSE, J. B. ; SAMET, J. M. ; TRTANJ, J.: The potential health impacts of climate variability and change for the United States: executive summary of the report of the health sector of the U.S. National Assessment. In: *Environ Health Perspect* 108 (2000), Apr, Nr. 4, S. 367–376
- [Patz u. a. 2004] PATZ, Jonathan A. ; DASZAK, Peter ; TABOR, Gary M. ; AGUIRRE, A. A. ; PEARL, Mary ; EPSTEIN, Jon ; WOLFE, Nathan D. ; KILPATRICK, A. M. ; FOFOPOULOS, Johannes ; MOLYNEUX, David ; BRADLEY, David J. ; WORKING GROUP ON LAND USE CHANGE AND DISEASE EMERGENCE: Unhealthy landscapes: Policy recommendations on land use change and infectious disease emergence. In: *Environ Health Perspect* 112 (2004), Jul, Nr. 10, S. 1092–1098
- [Perret u. a. 2000] PERRET, J. L. ; GUIGOZ, E. ; RAIS, O. ; GERN, L.: Influence of saturation deficit and temperature on *Ixodes ricinus* tick questing activity in a Lyme borreliosis-endemic area (Switzerland). In: *Parasitol Res* 86 (2000), Jul, Nr. 7, S. 554–557
- [Pfeffer u. Dobler 2010] PFEFFER, Martin ; DOBLER, Gerhard: Emergence of zoonotic arboviruses by animal trade and migration. In: *Parasit Vectors* 3 (2010), Nr. 1, 35. <http://dx.doi.org/10.1186/1756-3305-3-35>. – DOI 10.1186/1756-3305-3-35
- [Piesman u. Eisen 2008] PIESMAN, Joseph ; EISEN, Lars: Prevention of Tick-Borne Diseases. In: *Annual Review of Entomology* 53 (2008), Nr. 1, 323–343. <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.ento.53.103106.093429>. – DOI 10.1146/annurev.ento.53.103106.093429
- [Pimentel 2002] PIMENTEL, D. (Hrsg.): *Biological Invasions – Economic and Environmental Costs of Alien Plant, Animal and Microbe Species*. 368 S. CRC Press, 2002. – 369 S.

- [Pérez u. a. 2012] PÉREZ, David ; KNEUBÜHLER, Yvan ; RAIS, Olivier ; GERN, Lise: Seasonality of *Ixodes ricinus* ticks on vegetation and on rodents and *Borrelia burgdorferi* sensu lato genospecies diversity in two Lyme borreliosis-endemic areas in Switzerland. In: *Vector Borne Zoonotic Dis* 12 (2012), Aug, Nr. 8, 633–644. <http://dx.doi.org/10.1089/vbz.2011.0763>. – DOI 10.1089/vbz.2011.0763
- [Randolph 2001] RANDOLPH, S. E.: The shifting landscape of tick-borne zoonoses: tick-borne encephalitis and Lyme borreliosis in Europe. In: *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356 (2001), Jul, Nr. 1411, 1045–1056. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2001.0893>. – DOI 10.1098/rstb.2001.0893
- [Randolph 2004] RANDOLPH, S. E.: Tick ecology: processes and patterns behind the epidemiological risk posed by ixodid ticks as vectors. In: *Parasitology* 129 Suppl (2004), S. S37–S65
- [Randolph u. a. 2000] RANDOLPH, S. E. ; GREEN, R. M. ; PEACEY, M. F. ; ROGERS, D. J.: Seasonal synchrony: the key to tick-borne encephalitis foci identified by satellite data. In: *Parasitology* 121 (Pt 1) (2000), Jul, S. 15–23
- [Randolph u. a. 1999] RANDOLPH, S. E. ; MIKLISOVÁ, D. ; LYSY, J. ; ROGERS, D. J. ; LABUDA, M.: Incidence from coincidence: patterns of tick infestations on rodents facilitate transmission of tick-borne encephalitis virus. In: *Parasitology* 118 (Pt 2) (1999), Feb, S. 177–186
- [Randolph u. Rogers 2000] RANDOLPH, S. E. ; ROGERS, D. J.: Fragile transmission cycles of tick-borne encephalitis virus may be disrupted by predicted climate change. In: *Proc Biol Sci* 267 (2000), Sep, Nr. 1454, S. 1741–1744
- [Randolph 2010] RANDOLPH, Sarah E.: To what extent has climate change contributed to the recent epidemiology of tick-borne diseases? In: *Vet Parasitol* 167 (2010), Feb, Nr. 2-4, 92–94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vetpar.2009.09.011>. – DOI 10.1016/j.vetpar.2009.09.011
- [Randolph u. a. 2002] RANDOLPH, Sarah E. ; GREEN, R. M. ; HOODLESS, A. N. ; PEACEY, M. F.: An empirical quantitative framework for the seasonal population dynamics of the tick *Ixodes ricinus*. In: *Int J Parasitol* 32 (2002), Jul, Nr. 8, S. 979–989
- [Randolph u. Sumilo 2007] RANDOLPH, Sarah E. ; SUMILO, Dana: Tick-borne encephalitis in Europe: dynamics of changing risk. In: TAKKEN, Willem (Hrsg.) ; KNOLS, Bart (Hrsg.): *Emerging Pests and Vector-borne Disease in Europe*. Wageningen University Publishers, 2007, Kapitel 11, S. 187–206
- [Rácz u. a. 2006] RÁ CZ, Gábor R. ; BÁN, Eniko ; FERENCZI, Emoke ; BERENC SI, György: A simple spatial model to explain the distribution of human tick-borne encephalitis cases in Hungary. In: *Vector Borne Zoonotic Dis* 6 (2006), Nr. 4, 369–378. <http://dx.doi.org/10.1089/vbz.2006.6.369>. – DOI 10.1089/vbz.2006.6.369
- [Reiche 2003] REICHE, Dagmar: *Roche Lexikon Medizin*. Urban & Fischer Verlag/Elsevier GmbH, 2003. – 2112 S.

- [Reintjes u. Krämer 2003] REINTJES, R. ; KRÄMER, A.: Epidemiologische Surveillance. In: *Infektionsepidemiologie*. Springer, 2003, Kapitel 5, S. 57–73
- [Reiter 2001] REITER, P.: Climate change and mosquito-borne disease. In: *Environ Health Perspect* 109 Suppl 1 (2001), Mar, S. 141–161
- [Rieger u. a. 1999] RIEGER, Monika A. ; NÜBLING, Matthias ; MÜLLER, Werner ; HASSELHORN, Hans-Martin ; HOFMANN, Friedrich: Foxes as indicators for TBE endemicity — a comparative serological investigation. In: *Zentralblatt für Bakteriologie* 289 (1999), Nr. 5-7, 610 - 618. [http://dx.doi.org/10.1016/S0934-8840\(99\)80017-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0934-8840(99)80017-6). – DOI 10.1016/S0934-8840(99)80017-6. – ISSN 0934-8840
- [Rizzoli u. a. 2009] RIZZOLI, Annapaola ; HAUFFE, Heidi C. ; TAGLIAPIETRA, Valentina ; NETELER, Markus ; ROSÀ, Roberto: Forest structure and roe deer abundance predict tick-borne encephalitis risk in Italy. In: *PLoS One* 4 (2009), Nr. 2, e4336. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0004336>. – DOI 10.1371/journal.pone.0004336
- [Rizzoli u. a. 2002] RIZZOLI, Annapaola ; MERLER, Stefano ; FURLANELLO, Cesare ; GENCHI, Claudio: Geographical information systems and bootstrap aggregation (bagging) of tree-based classifiers for Lyme disease risk prediction in Trentino, Italian Alps. In: *J Med Entomol* 39 (2002), May, Nr. 3, S. 485–492
- [RKI 1996] RKI: *Frühsommer-Meningoenzephalitis (FSME): Erkennung und Verhütung-Merkblatt für Ärzte*. Deutscher Ärzteverlag, 1996. – 4 S.
- [RKI 1998] RKI: Aktuelle Daten und Informationen zu Infektionskrankheiten und Public Health. In: *Epidemiologisches Bulletin* 27 (1998), S. 3
- [RKI 2005a] RKI: Empfehlungen der Ständigen Impfkommission (STIKO) am RKI. In: *Epidemiologisches Bulletin* 30 (2005), S. 258–272
- [RKI 2005b] RKI: FSME: Risikogebiete in Deutschland Zum örtlichen Erkrankungsrisiko der Frühsommer-Meningoenzephalitis und zu Schlussfolgerungen für präventive Maßnahmen. In: *Epidemiologisches Bulletin* 16 (2005), S. 138–148
- [RKI 2009] RKI: Zur Situation bei ausgewählten Infektionskrankheiten in Deutschland Invasive Meningokokken-Erkrankungen im Jahr 2008. In: *Epidemiologisches Bulletin* 45 (2009), S. 12
- [RKI 2011] RKI: FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: April 2011) Bewertung des örtlichen Erkrankungsrisikos. In: *Epidemiologisches Bulletin* 17 (2011), S. 1–15
- [RKI 2012] RKI: FSME: Risikogebiete in Deutschland (Stand: Mai 2012) Bewertung des örtlichen Erkrankungsrisikos. In: *Epidemiologisches Bulletin* 21 (2012), S. 189–204
- [Rochlin u. a. 2011] ROCHLIN, Ilia ; TURBOW, David ; GOMEZ, Frank ; NINIVAGGI, Dominick V. ; CAMPBELL, Scott R.: Predictive mapping of human risk for West Nile virus (WNV) based on environmental and socioeconomic factors. In: *PLoS One* 6 (2011), Nr. 8, e23280. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0023280>. – DOI 10.1371/journal.pone.0023280

- [Rothman u. a. 2008] ROTHMAN, Kenneth J. ; GREENLAND, Sander ; LASH, Timothy L.: *Modern Epidemiology*. Lippincott Williams & Wilkins, 2008
- [Ruiz-Fons u. a. 2012] RUIZ-FONS, Francisco ; MERA, Isabel G. ; ACEVEDO, Pelayo ; GORTÁZAR, Christian ; DE LA FUENTE, José: Factors driving the abundance of ixodes ricinus ticks and the prevalence of zoonotic I. ricinus-borne pathogens in natural foci. In: *Appl Environ Microbiol* 78 (2012), Apr, Nr. 8, 2669–2676. <http://dx.doi.org/10.1128/AEM.06564-11>. – DOI 10.1128/AEM.06564-11
- [Salman u. Tarrés-Call 2013] SALMAN, M. ; TARRÉS-CALL, J.: *Ticks and Tick-Borne Diseases: Geographical Distribution and Control Strategies in the Euro-Asia Region*. CABI, 2013
- [Schwartz 2003] SCHWARTZ, Friedrich W. ; SCHWARTZ, Friedrich W. (Hrsg.): *Das Public Health Buch: Gesundheit und Gesundheitswesen*. Urban & Fischer Verlag, 2003. – 905 S.
- [Schwarz u. a. 2009] SCHWARZ, Alexandra ; MAIER, Walter A. ; KISTEMANN, Thomas ; KAMPEN, Helge: Analysis of the distribution of the tick *Ixodes ricinus* L. (Acari: Ixodidae) in a nature reserve of western Germany using Geographic Information Systems. In: *Int J Hyg Environ Health* 212 (2009), Jan, Nr. 1, 87–96. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijheh.2007.12.001>. – DOI 10.1016/j.ijheh.2007.12.001
- [Seifter u. a. 2010] SEIFTER, Ari ; SCHWARZWALDER, Alison ; GEIS, Kate ; AUCOTT, John: The utility of "Google Trends" for epidemiological research: Lyme disease as an example. In: *Geospat Health* 4 (2010), May, Nr. 2, S. 135–137
- [Semenza u. Menne 2009] SEMENZA, Jan C. ; MENNE, Bettina: Climate change and infectious diseases in Europe. In: *Lancet Infect Dis* 9 (2009), Jun, Nr. 6, 365–375. [http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099\(09\)70104-5](http://dx.doi.org/10.1016/S1473-3099(09)70104-5). – DOI 10.1016/S1473-3099(09)70104-5
- [Shaw 2012] SHAW, Nicola T.: Geographical information systems and health: current state and future directions. In: *Healthc Inform Res* 18 (2012), Jun, Nr. 2, 88–96. <http://dx.doi.org/10.4258/hir.2012.18.2.88>. – DOI 10.4258/hir.2012.18.2.88
- [da Silva u. a. 2011] SILVA, Machado da ; MAGALHÃES, Alba V. ; AVELAR FIGUEIREDO MAFRA, Monica de ; BRAZIL, Peçanha ; ARAUJO, João C.: Ecological study and risk mapping of leishmaniasis in an endemic area of Brazil based on a geographical information systems approach. In: *Geospat Health* 6 (2011), Nov, Nr. 1, S. 33–40
- [Singh u. a. 2011] SINGH, B. B. ; SHARMA, R. ; GILL, J P S. ; AULAKH, R. S. ; BANGA, H. S.: Climate change, zoonoses and India. In: *Rev Sci Tech* 30 (2011), Dec, Nr. 3, S. 779–788
- [Skarphédinsson u. a. 2005] SKARPHÉDINSSON, Sigurdur ; JENSEN, Per M. ; KRISTIANSEN, Kåre: Survey of tickborne infections in Denmark. In: *Emerg Infect Dis* 11 (2005), Jul, Nr. 7, S. 1055–1061
- [Smittskyddsinstitutet 2011] SMITTSKYDDSINSTITUTET: *Epidemiologisk Årsrapport 2010*. Smittskyddsinstitutet, 2011. – 54 S.

- [Snow 1849] SNOW, John: *On the mode of communicatoin of cholera*. London, UK : John Churchill, 1849
- [Solomon u. a. 2007] SOLOMON, S. (Hrsg.) ; QIN, D. (Hrsg.) ; MANNING, M. (Hrsg.) ; CHEN, Z. (Hrsg.) ; MARQUIS, M. (Hrsg.) ; AVERYT, K.B. (Hrsg.) ; TYGNOR, M. (Hrsg.) ; MILLER, H.L. (Hrsg.): *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007*. 2007
- [Sonenshine 1993] SONENSHINE, D.E. ; PRESS, Oxford U. (Hrsg.): *Biology of ticks*. Bd. 2. Oxford University Press, 1993. – 1–465 S.
- [Süss 2011] SÜSS, Jochen: Tick-borne encephalitis 2010: epidemiology, risk areas, and virus strains in Europe and Asia-an overview. In: *Ticks Tick Borne Dis* 2 (2011), Mar, Nr. 1, 2–15. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.10.007>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2010.10.007
- [Süss u. a. 2008] SÜSS, Jochen ; KLAUS, Christine ; GERSTENGARBE, Friedrich-Wilhelm ; WERNER, Peter C.: What makes ticks tick? Climate change, ticks, and tick-borne diseases. In: *J Travel Med* 15 (2008), Nr. 1, 39–45. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x>. – DOI 10.1111/j.1708-8305.2007.00176.x
- [Süss u. a. 2004] SÜSS, Jochen ; SCHRADER, Christina ; FALK, Ulrich ; WOHANKA, Nikolaus: Tick-borne encephalitis (TBE) in Germany-epidemiological data, development of risk areas and virus prevalence in field-collected ticks and in ticks removed from humans. In: *Int J Med Microbiol* 293 Suppl 37 (2004), Apr, S. 69–79
- [Stanek 2002] STANEK, G.: Durch Zecken übertragene Krankheitserreger (Tick-Transmitted Diseases). In: *Antibiotika Monitor* 5 (2002), 1-1. http://www.antibiotikamonitor.at/5_02/5_02_inhalt.htm
- [Stanek 2005] STANEK, G.: Lyme-/Schildzecken-Borreliose und andere Zecken-vermittelte Infektionskrankheiten in Österreich. In: *Antibiotika Monitor* 3 (2005), 34–58. http://www.antibiotikamonitor.at/3_05/3_05_1.htm
- [Star u. Estes 1989] STAR, Jeffrey (Hrsg.) ; ESTES, John E. (Hrsg.): *Geographic Information Systems: An Introduction*. Englewood Cliss, NJ. : Prentice-Hall, 1989
- [Statistisches Bundesamt, Deutschland 2012] STATISTISCHES BUNDESAMT, DEUTSCHLAND: *Bevölkerungsstand*. Online. <https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesellschaftStaat/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/Bevoelkerungsstand.html>; jsessionid=A9E2D2EDBD7048BF6E2CoF4CDAD7A52B.cae3. Version: Juni 2012
- [Stefanoff u. a. 2012] STEFANOFF, Pawel ; ROSINSKA, Magdalena ; SAMUELS, Steven ; WHITE, Dennis J. ; MORSE, Dale L. ; RANDOLPH, Sarah E.: A national case-control study identifies human socio-economic status and activities as risk factors for tick-borne encephalitis in Poland. In: *PLoS One* 7 (2012), Nr. 9, e45511. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0045511>. – DOI 10.1371/journal.pone.0045511

- [Sumilo u. a. 2008a] SUMILO, Dana ; ASOKLIENE, Loreta ; AVSIC-ZUPANC, Tatjana ; BORMANE, Antra ; VASILENKO, Veera ; LUCENKO, Irina ; GOLOVLJOVA, Irina ; RANDOLPH, Sarah E.: Behavioural responses to perceived risk of tick-borne encephalitis: vaccination and avoidance in the Baltics and Slovenia. In: *Vaccine* 26 (2008), May, Nr. 21, 2580–2588. <http://dx.doi.org/10.1016/j.vaccine.2008.03.029>. – DOI 10.1016/j.vaccine.2008.03.029
- [Sumilo u. a. 2007] SUMILO, Dana ; ASOKLIENE, Loreta ; BORMANE, Antra ; VASILENKO, Veera ; GOLOVLJOVA, Irina ; RANDOLPH, Sarah E.: Climate change cannot explain the upsurge of tick-borne encephalitis in the Baltics. In: *PLoS One* 2 (2007), Nr. 6. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0000500>. – DOI 10.1371/journal.pone.0000500
- [Sumilo u. a. 2008b] SUMILO, Dana ; BORMANE, Antra ; ASOKLIENE, Loreta ; VASILENKO, Veera ; GOLOVLJOVA, Irina ; AVSIC-ZUPANC, Tatjana ; HUBALEK, Zdenek ; RANDOLPH, Sarah E.: Socio-economic factors in the differential upsurge of tick-borne encephalitis in Central and Eastern Europe. In: *Rev Med Virol* 18 (2008), Nr. 2, 81–95. <http://dx.doi.org/10.1002/rmv.566>. – DOI 10.1002/rmv.566
- [Sutherst 1993] SUTHERST, R. W.: Arthropods as disease vectors in a changing environment. In: *Ciba Found Symp* 175 (1993), S. 124–41; discussion 141–5
- [Sutherst 1998] SUTHERST, R. W.: Implications of global change and climate variability for vector-borne diseases: generic approaches to impact assessments. In: *Int J Parasitol* 28 (1998), Jun, Nr. 6, S. 935–945
- [Sutherst 2004] SUTHERST, R.W.: Global Change and Human Vulnerability to Vector-Borne Diseases. In: *Clinical microbiology reviews* 17 (2004), Nr. 1, S. 136–173
- [Suttorp u. a. 2003] SUTTORP, Norbert (Hrsg.) ; KIEHL, Wolfgang (Hrsg.) ; MIELKE, Martin (Hrsg.) ; STÜCK, Burghard (Hrsg.): *Infektionskrankheiten: Verstehen, erkennen, behandeln*. Stuttgart : Thieme, 2003
- [Swedish Forest Agency 2007] SWEDISH FOREST AGENCY: *Swedish Forestry Facing Climate Change*. Bd. 8. Jönköping, Sweden : Swedish Forest Agency, 2007
- [Tabachnick 2010] TABACHNICK, W. J.: Challenges in predicting climate and environmental effects on vector-borne disease epizootics in a changing world. In: *J Exp Biol* 213 (2010), Mar, Nr. 6, 946–954. <http://dx.doi.org/10.1242/jeb.037564>. – DOI 10.1242/jeb.037564
- [Tack u. a. 2012a] TACK, W. ; MADDER, M. ; BAETEN, L. ; DE FRENNE, P. ; VERHEYEN, K.: The abundance of *Ixodes ricinus* ticks depends on tree species composition and shrub cover. In: *Parasitology* 139 (2012), Sep, Nr. 10, 1273–1281. <http://dx.doi.org/10.1017/S0031182012000625>. – DOI 10.1017/S0031182012000625
- [Tack u. a. 2012b] TACK, Wesley ; MADDER, Maxime ; BAETEN, Lander ; VANHELLEMONT, Margot ; GRUWEZ, Robert ; VERHEYEN, Kris: Local habitat and landscape affect *Ixodes ricinus* tick abundances in forests on poor, sandy soils. In: *Forest Ecology and Management* 265 (2012), Februar, Nr. 0, 30–36. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112711006499>. – ISSN 0378–1127

- [Taylor u. a. 2001] TAYLOR, L. H. ; LATHAM, S. M. ; WOOLHOUSE, M. E.: Risk factors for human disease emergence. In: *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci* 356 (2001), Jul, Nr. 1411, 983–989. <http://dx.doi.org/10.1098/rstb.2001.0888>. – DOI 10.1098/rstb.2001.0888
- [Thai u. Anders 2011] THAI, Khoa T D. ; ANDERS, Katherine L.: The role of climate variability and change in the transmission dynamics and geographic distribution of dengue. In: *Exp Biol Med (Maywood)* 236 (2011), Aug, Nr. 8, 944–954. <http://dx.doi.org/10.1258/ebm.2011.010402>. – DOI 10.1258/ebm.2011.010402
- [Tälleklint u. Jaenson 1993] TÄLLEKLINT, L. ; JAENSON, T. G.: Maintenance by hares of European *Borrelia burgdorferi* in ecosystems without rodents. In: *J Med Entomol* 30 (1993), Jan, Nr. 1, S. 273–276
- [Tälleklint u. Jaenson 1996] TÄLLEKLINT, L. ; JAENSON, T. G.: Seasonal variations in density of questing *Ixodes ricinus* (Acari: Ixodidae) nymphs and prevalence of infection with *B. burgdorferi* s.l. in south central Sweden. In: *J Med Entomol* 33 (1996), Jul, Nr. 4, S. 592–597
- [Tälleklint u. Jaenson 1997] TÄLLEKLINT, L. ; JAENSON, T. G.: Infestation of mammals by *Ixodes ricinus* ticks (Acari: Ixodidae) in south-central Sweden. In: *Exp Appl Acarol* 21 (1997), Dec, Nr. 12, S. 755–771
- [Tobler 1970] TOBLER, W. R.: A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. In: *Economic Geography* 46 (1970), Juni, 234–240. <http://www.jstor.org/stable/143141>. – ISSN 00130095
- [Trauter u. Berger 1993] TRAUTER, Christoph ; BERGER, Michael: Medizinische Grundlagen der Gesundheitswissenschaften. In: HURRELMANN, Klaus (Hrsg.) ; LAASER, Ulrich (Hrsg.): *Gesundheitswissenschaften: Handbuch für Lehre, Forschung und Praxis*. Weinheim, Basel : Beltz, 1993, S. 123–150
- [Trenkner u. Komorek 2002] TRENKNER, V. ; KOMOREK, M.: *Ixodes ricinus* - Überträger von Borreliose und FSME. In: *Heidelberger Tag der Artenvielfalt*, 2002, S. 123–126
- [Trotz-Williams u. Trees 2003] TROTZ-WILLIAMS, L.A. ; TREES, A.J.: Systematic review of the distribution of the major vector-borne parasitic infections in dogs and cats in Europe. In: *Vet Rec* 152 (2003), Nr. 4, S. 97–105
- [Turnock 2007] TURNOCK, Bernard J.: *Essentials of Public Health*. Jones & Bartlett Publishers, 2007
- [Umweltbundesamt 2012] UMWELTBUNDESAMT: *Trends der Lufttemperatur*. Online. <http://www.env-it.de/umweltdaten/public/theme.do?nodeId=2355>. Version: März 2012
- [van Tongeren 1955] VAN TONGEREN, H. A.: Encephalitis in Austria. IV. Excretion of virus by milk of the experimentally infected goat. In: *Arch Gesamte Virusforsch* 6 (1955), Nr. 2-3, S. 158–162

- [Vanwambeke u. a. 2010] VANWAMBEKE, Sophie O. ; SUMILO, Dana ; BORMANE, Antra ; LAMBIN, Eric F. ; RANDOLPH, Sarah E.: Landscape predictors of tick-borne encephalitis in Latvia: land cover, land use, and land ownership. In: *Vector Borne Zoonotic Dis* 10 (2010), Jun, Nr. 5, 497–506. <http://dx.doi.org/10.1089/vbz.2009.0116>. – DOI 10.1089/vbz.2009.0116
- [Vogt u. Klein 2005] VOGT, Konstanze ; KLEIN, Paul ; HAHN, Helmut (Hrsg.): *Medizinische Mikrobiologie und Infektiologie*. 5., vollst. aktualisierte Aufl. Berlin [u.a.] : Springer, 2005. – XXI, 1050 S. : Ill., graph. Darst.
- [Vor u. a. 2010] VOR, Torsten ; KIFFNER, Christian ; HAGEDORN, Peter ; NIEDRIG, Matthias ; RÜHE, Ferdinand: Tick burden on European roe deer (*Capreolus capreolus*). In: *Exp Appl Acarol* 51 (2010), Aug, Nr. 4, 405–417. <http://dx.doi.org/10.1007/s10493-010-9337-0>. – DOI 10.1007/s10493-010-9337-0
- [Walker u. a. 2001] WALKER, A. R. ; ALBERDI, M. P. ; URQUHART, K. A. ; ROSE, H.: Risk factors in habitats of the tick *Ixodes ricinus* influencing human exposure to Ehrlichia phagocytophila bacteria. In: *Med Vet Entomol* 15 (2001), Mar, Nr. 1, S. 40–49
- [Waller 1996] WALLER, Heiko ; WALLER, Heiko (Hrsg.): *Gesundheitswissenschaften: Eine Einführung in Grundlagen und Praxis*. Stuttgart, Berlin, Köln : Kohlhammer, 1996. – 253 S.
- [Walter u. Liebisch 1980] WALTER, G. ; LIEBISCH, A.: Untersuchung zur Biologie und Verbreitung von Zecken (Ixodoidea, Ixodidea) in Norddeutschland III *Ixodes ricinus*(L. 1758). In: *Z. Angew. Zool.* 67 (1980), S. 449–476
- [Weber 2003] WEBER, Reinhold ; LANDESZENTRALE FÜR POLITISCHE BILDUNG BADEN-WÜRTTEMBERG (Hrsg.): *Baden-Württemberg - Eine kleine politische Landeskunde*. Landeszentrale für politische Bildung Baden-Württemberg, 2003. – 109 S.
- [Weiss u. McMichael 2004] WEISS, Robin A. ; MCMICHAEL, Anthony J.: Social and environmental risk factors in the emergence of infectious diseases. In: *Nat Med* 10 (2004), Dec, Nr. 12 Suppl, S70–S76. <http://dx.doi.org/10.1038/nm1150>. – DOI 10.1038/nm1150
- [Weitkunat u. Schlipkötter 2004] WEITKUNAT, R. ; SCHLIPKÖTER: Prävention und Infektionskrankheiten. In: HURRELMANN, K. (Hrsg.) ; KLOTZ, T. (Hrsg.) ; HAISCH, J. (Hrsg.): *Lehrbuch Prävention und Gesundheitsförderung*. Verlag Hans Huber, 2004, S. 413
- [WHO 1986] WHO: Erste Internationale Konferenz über Gesundheitsförderung. In: *Ottawa-Charta zur Gesundheitsförderung*. Ottawa, Ontario, Canada : WHO, 17.-21.11.1986 1986, S. 1–6
- [WHO 1999] WHO: Gesundheit 21: Das Rahmenkonzept „Gesundheit für alle“ für die Europäische Region der WHO. In: *Europäische Schriftenreihe „Gesundheit für alle“* 6 (1999), S. 1–267
- [WHO 2004a] WHO ; WHO (Hrsg.): *The vector-borne human infections of europe: their distribution and burden on public health*. WHO, 2004. – 154 S.

- [WHO 2004b] WHO; WHO (Hrsg.): *The World Health Report*. World Health Organisation WHO, 2004. – 96 S.
- [Wichmann u. Kreienbrock 2002] WICHMANN, H.E.; KREIENBROCK, L.: Umweltepidemiologie. In: DOTT, Wolfgang (Hrsg.); MERK, Hans F. (Hrsg.); NEUSER, Jürgen (Hrsg.); OSIEKA, Rainhardt (Hrsg.): *Lehrbuch der Umweltmedizin: Grundlagen, Untersuchungsmethoden, Krankheitsbilder, Prävention*. Wiss. Verl.-Gesl., 2002, S. 527–538
- [Wilder-Smith u. a. 2012] WILDER-SMITH, Annelies; RENHORN, Karl-Erik; TISSERA, Hasitha; ABU BAKAR, Sazaly; ALPHEY, Luke; KITTAYAPONG, Pattamaporn; LINDSAY, Steve; LOGAN, James; HATZ, Christoph; REITER, Paul; ROCKLÖV, Joacim; BYASS, Peter; LOUIS, Valérie R.; TOZAN, Yesim; MASSAD, Eduardo; TENORIO, Antonio; LAGNEAU, Christophe; LAMBERT, Grégory; BROOKS, David; WEGERDT, Johannah; GUBLER, Duane: DengueTools: innovative tools and strategies for the surveillance and control of dengue. In: *Glob Health Action* 5 (2012). <http://dx.doi.org/10.3402/gha.v5i0.17273>. – DOI 10.3402/gha.v5i0.17273
- [Zebisch u. a. 2005] ZEBISCH, M.; GROTHMANN, T.; SCHRÖTER, D.; HASSE, C.; FRITSCH, U.; CRAMER, W.: *Klimawandel in Deutschland? Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme*. Umweltbundesamt, 2005. – 205 S.
- [Zeman u. Bene 2004] ZEMAN, Petr; BENE, Cestmir: A tick-borne encephalitis ceiling in Central Europe has moved upwards during the last 30 years: possible impact of global warming? In: *Int J Med Microbiol* 293 Suppl 37 (2004), Apr, S. 48–54
- [Zeman u. a. 2010] ZEMAN, Petr; PAZDIORA, Petr; BENES, Cestmir: Spatio-temporal variation of tick-borne encephalitis (TBE) incidence in the Czech Republic: Is the current explanation of the disease's rise satisfactory? In: *Ticks Tick Borne Dis* 1 (2010), Sep, Nr. 3, 129–140. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ttbdis.2010.05.003>. – DOI 10.1016/j.ttbdis.2010.05.003

Danksagung

An erster Stelle danke ich der Betreuerin meiner Doktorarbeit Frau Prof. Dr. Claudia Hornberg für das Überlassen dieses interessanten Forschungsthemas und ihre stete Unterstützung. Ihr großes Vertrauen und ihre Geduld haben schließlich den Abschluss dieser Arbeit ermöglicht.

Für die Übernahme des Zweitgutachtens bedanke ich mich ganz herzlich bei Herrn Prof. Dr. Alexander Krämer.

Frau Dr. Annette Malsch und Herrn Dr. Thomas Claßen möchte ich für all die vielen Anregungen und kritischen Kommentare danken, die zu einem guten Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt auch Herrn Sebastian Meyer und Herrn Valentin Wimmer, die meine Arbeit, mit ihrer Abschlussarbeit im Rahmen einer Veranstaltung zum statistischen Consulting bei Prof. Dr. Helmut Küchenhoff am Institut für Statistik der Ludwig-Maximilians-Universität München, durch ihr statistisches Know-How unterstützt haben. Der Erfolg dieser Kooperation ist maßgeblich Herrn Michael Höhle, Ph. D., zu verdanken.

Ein großer Dank gilt auch der Universität Bielefeld, die mir durch ein Rektoratsstipendium über einen langen Zeitraum ein fokussiertes Arbeiten ermöglicht hat.

Bedanken möchte ich mich außerdem bei meinen ehemaligen Kolleginnen Sarah und Anika für die vielen Stunden kreativer Diskussionen und guter Atmosphäre im Büro.

Für die tollen, diskussionsreichen Abende in puncto Methodik und Umsetzung mit GIS möchte ich mich ganz herzlich bei Christine Achberger bedanken. Der konstruktive Austausch hat mich in meiner Arbeit sehr vorangebracht und eine Menge Spaß gemacht.

Am Schluss möchte ich den Leuten danken, die mir am wichtigsten im meinem Leben sind: meiner Familie. Sie haben mich durch Motivation, Korrekturlesen und endlose Liebe maßlos unterstützt. Besonderer Dank gilt dabei meinem Mann Ralf: Danke, dass du in allen Höhen und Tiefen für mich da bist! Ohne Dich hätte ich das nicht geschafft!

Hiermit erkläre ich,

- dass ich die eingereichte Arbeit selbst verfasst habe,
- dass ich bei der Abfassung der Arbeit nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt und wörtlich oder inhaltlich übernommene Stellen als solche gekennzeichnet habe,
- und dass ich die eingereichte Arbeit nur in diesem und keinem anderen Promotionsverfahren eingereicht habe und diesem Promotionsverfahren keine endgültig gescheiterten Promotionsverfahren vorausgegangen sind.

Bielefeld, 10. Oktober 2014