

Aus dem Institut  
für Mikrobiologie und Tierseuchen  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin  
und der Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten  
in Wusterhausen

Bluetongue Disease in Deutschland?  
Risikoabschätzung  
mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS)

Inaugural - Dissertation  
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Veterinärmedizin  
an der Freien Universität Berlin

vorgelegt von  
Sylvia Koslowsky  
Tierärztin  
aus Brühl (Rheinland)

Berlin 2002

Journal – Nr.: 2630

Gedruckt mit Genehmigung  
des Fachbereichs Veterinärmedizin  
der Freien Universität Berlin

Dekan: Univ.-Prof. Dr. M. F. G. Schmidt  
Erster Gutachter: Univ.-Prof. Dr. L. H. Wieler  
Zweiter Gutachter: Univ.-Prof. Dr. H. Ludwig

Tag der Promotion: 19.06.2002

*Für H. P.*

**2 LITERATURÜBERSICHT: VORSTELLEN DER BLUETONGUE DISEASE (BTD) MIT  
BESONDEREM AUGENMERK AUF DIE MÖGLICHEN VEKTOREN**

<b>2.1</b>	<b>CHARAKTERISIERUNG DER BLUETONGUE DISEASE (BTD)</b>	<b>12</b>
2.1.1	ERREGER, TAXONOMIE	12
2.1.2	PATHOGENITÄT, VIRULENZ UND WIRTSSPEKTRUM	12
2.1.3	TENAZITÄT DES BLUETONGUE VIRUS (BTV)	13
<b>2.2</b>	<b>ÜBERTRAGUNGSVORGANG</b>	<b>14</b>
2.2.1	ZYKLISCHE ÜBERTRAGUNG DURCH BELEBTE VEKTOREN	14
2.2.1.1	Überträgerspezies	14
2.2.1.2	Orale Infektion	16
2.2.1.3	Parenterale Inokulation	16
2.2.1.4	Transovarielle Übertragung	17
2.2.1.5	Übertragungsbarrieren in individuellen <i>Culicoides</i>	17
2.2.2	MECHANISCHE ÜBERTRAGUNG DURCH BELEBTE VEKTOREN	19
2.2.3	IATROGENE ÜBERTRAGUNG	19
2.2.4	DIAPLAZENTARE ÜBERTRAGUNG	20
2.2.5	TRANSSPERMALE ÜBERTRAGUNG	20
2.2.6	ÜBERTRAGUNG DURCH EMBRYOTRANSFER	21
<b>2.3</b>	<b>INFEKTION, KLINISCHE MANIFESTATION, ERREGERAUSSCHIEDUNG</b>	<b>21</b>
2.3.1	MORBIDITÄT UND LETALITÄT	22
2.3.2	VIRÄMIE	23
<b>2.4</b>	<b>GESCHICHTLICHER ÜBERBLICK</b>	<b>23</b>
2.4.1	NEUERE AUSBRÜCHE	24
<b>2.5</b>	<b>ÜBERBLICK ÜBER DIE SITUATION IN EUROPA</b>	<b>25</b>
<b>2.6</b>	<b>EPIDEMIOLOGIE</b>	<b>26</b>
2.6.1	EINFLUSS DES KLIMAS	26
2.6.2	EINTEILUNG IN GEOGRAPHISCHE ZONEN	26
2.6.3	VERBREITUNG	28
2.6.4	ÜBERWINTERUNGSMECHANISMEN DES ERREGERS	28
2.6.5	EINFLUSS DER BESATZDICHTE	30
2.6.6	WIRTSPRÄFERENZ VON <i>CULICOIDES</i>	31
<b>2.7</b>	<b>RECHTLICHE SITUATION</b>	<b>31</b>

<b>3</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT: LEBENSRAUM DER ARTHROPODENVEKTOREN</b>	<b>36</b>
<b>3.1</b>	<b>TAXONOMIE</b>	<b>36</b>
<b>3.2</b>	<b>LEBENSZYKLUS</b>	<b>36</b>
<b>3.3</b>	<b>CULICOIDES IN EUROPA</b>	<b>37</b>
<b>3.4</b>	<b>CULICOIDES IN DEUTSCHLAND</b>	<b>38</b>
<b>3.5</b>	<b>VEKTORKOMPETENZ UND -KAPAZITÄT</b>	<b>39</b>
3.5.1	EINFLUSS DER TEMPERATUR	40
3.5.1.1	Verbreitung	40
3.5.1.2	Populationsgröße	41
3.5.1.3	Extrinsic incubation period (EIP) und Vektorkompetenz	41
3.5.2	NIEDERSCHLAG	43
3.5.3	NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX	43
3.5.4	WINDSTÄRKE	43
3.5.5	LUFTFEUCHTE	44
3.5.6	LICHTSTÄRKE	45
3.5.7	BEWÖLKUNGSDICHTE	45
<b>3.6</b>	<b>BESCHRÄNKENDE FAKTOREN FÜR DIE VERBREITUNG VON <i>CULICOIDES</i></b>	<b>45</b>
<b>3.7</b>	<b>BEISPIELE FÜR HEIMISCHE POTENTIELLE VEKTOREN FÜR BLUETONGUE VIRUS</b>	<b>45</b>
3.7.1	<i>C. NUBECULOSUS</i>	46
3.7.2	<i>C. OBSOLETUS</i>	49
<b>3.8</b>	<b><i>C. IMICOLA</i> ALS DOMINANTER VEKTOR IM EUROPÄISCH-AFRIKANISCHEN RAUM</b>	<b>50</b>
<b>4</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT: GLOBALE ERWÄRMUNG UND DEREN AUSWIRKUNG AUF VEKTORÜBERTRAGENE KRANKHEITEN</b>	<b>52</b>
<b>4.1</b>	<b>GLOBALE ERWÄRMUNG</b>	<b>52</b>
<b>4.2</b>	<b>AUSWIRKUNG DES KLIMAS AUF VEKTORÜBERTRAGENE KRANKHEITEN</b>	<b>53</b>
<b>5</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>55</b>
<b>5.1</b>	<b>ZIELSETZUNG</b>	<b>55</b>
<b>5.2</b>	<b>DIE DATEN</b>	<b>55</b>
5.2.1	AUSWAHL DER KLIMADATEN	55
5.2.1.1	Daten für die Deutschlandkarten	55
5.2.1.1.1	Auswahl der Parameter	55
5.2.1.1.2	Gewählter Zeitraum	57

5.2.1.2	Daten für die Detailkarten	57
5.2.1.2.1	Gewählte Parameter	57
5.2.1.2.2	Gewählter Zeitraum	58
5.2.2	AUSWAHL DER ORTE	58
5.2.2.1	Auswahl der Orte für die Deutschlandkarten	58
5.2.2.1.1	Fehlende Daten	59
5.2.2.2	Auswahl der Orte für die Detailkarten	60
5.2.2.3	Auswahl der Orte und Monate für die Monatsdiagramme	61
5.2.3	VERARBEITUNG DER DATEN	61
5.2.4	DATEN ÜBER DIE BESATZDICHTE	62
<b>5.3</b>	<b>DAS GEOGRAPHISCHE INFORMATIONSSYSTEM</b>	<b>62</b>
5.3.1	DIE INTERPOLATION	63
5.3.2	ADDITION DER KARTEN	64
5.3.3	DAS POSTLEITZAHLENSYSTEM	65
<b>5.4</b>	<b>ERSTELLUNG DER DIAGRAMME</b>	<b>65</b>
<b>5.5</b>	<b>SIMULATION EINER GLOBALEN ERWÄRMUNG</b>	<b>66</b>
<b>6</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>67</b>
<hr/>		
<b>6.1</b>	<b>DEUTSCHLANDKARTEN</b>	<b>67</b>
6.1.1	TEMPERATUREN	67
6.1.1.1	Monatsrasterkarten	67
6.1.1.2	Entscheidungsfragen	70
6.1.1.3	Addition der Karten	70
6.1.1.4	Wärmekarte Deutschland – Einteilung in Zonen	70
6.1.2	HÖHENSTUFEN	71
6.1.3	VIEHDICHTE	71
<b>6.2</b>	<b>DETAILKARTEN</b>	<b>72</b>
6.2.1	SPEZIFIZIERUNG DER WÄRMEZONEN	72
6.2.1.1	Entscheidungsfragen	73
6.2.1.2	Tägliche Maximaltemperaturen / Diagramme	73
6.2.2	VIEHDICHTE IM DETAIL	73
6.2.3	WINDSTÄRKEN	74
6.2.4	JAHRESNIEDERSCHLAG	74
6.2.5	TEMPERATURVERLAUF ÜBER ZEHN JAHRE	75
6.2.5.1	Vergleiche mit dem Jahr 2000 / Monate mit durchschnittlicher Maximaltemperatur größer oder gleich 12,5° C	75

6.2.5.2	Wärmste Monate	77
<b>6.3</b>	<b>SIMULATION EINER GLOBALEN ERWÄRMUNG</b>	<b>77</b>
6.3.1	DARSTELLUNG DER MÖGLICHEN ERWÄRMUNG DEUTSCHLANDWEIT	77
6.3.2	DARSTELLUNG DER MÖGLICHEN ERWÄRMUNG AUF DER DETAILKARTE	78
<b>7</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>79</b>
<b>7.1</b>	<b>KARTENINTERPRETATION / DEFINITION DER RISIKOZONEN</b>	<b>79</b>
7.1.1	AUSWIRKUNG DER MAXIMALTEMPERATUREN AUF DAS VORKOMMEN UND DIE VEKTORKOMPETENZ VON <i>CULICOIDES</i> SPP.	79
7.1.1.1	<i>Culicoides imicola</i>	79
7.1.1.2	<i>Culicoides nubeculosus</i>	81
7.1.1.3	<i>Culicoides</i> -Arten - allgemein	82
7.1.1.4	Temperaturverlauf über zehn Jahre	83
7.1.1.5	Gefährdete Orte – Parameter Temperatur	83
7.1.2	AUSWIRKUNG DER VIEHDICHTE AUF DAS RISIKO	85
7.1.3	AUSWIRKUNG DER HÖHE AUF DAS RISIKO	86
7.1.4	AUSWIRKUNG DER WINDSTÄRKE AUF DAS RISIKO	87
7.1.5	EINFLUSS DES JAHRESNIEDERSCHLAGS	88
7.1.6	DEFINITION DER RISIKOZONEN	88
<b>7.2</b>	<b>FOLGEN UND EMPFEHLUNGEN FÜR DIE RISIKOZONEN SOWIE DIE RESTLICHEN GEBIETE</b>	<b>89</b>
<b>7.3</b>	<b>AUSBLICK AUF VERÄNDERUNGEN DURCH KLIMAERWÄRMUNG UND DEREN FOLGEN FÜR <i>CULICOIDES</i> SPP. UND BLUETONGUE DISEASE IN DEUTSCHLAND</b>	<b>91</b>
<b>7.4</b>	<b>ANWENDBARKEIT DER METHODE AUF ANDERE VEKTORÜBERTRAGENE KRANKHEITEN</b>	<b>93</b>
<b>8</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>94</b>
<b>9</b>	<b>SUMMARY</b>	<b>96</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURNACHWEIS</b>	<b>98</b>
<b>11</b>	<b>VERZEICHNIS DER TABELLEN</b>	<b>119</b>

**12 VERZEICHNIS DER KARTEN** **120**

---

**13 VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN** **122**

---

**14 ANHANG 1: TABELLEN – SIEHE TABELLEN.PDF**

**15 ANHANG 2: KARTEN – SIEHE KARTE 1 A.PDF BIS KARTE 28 A.PDF**

**16 ANHANG 3: ABBILDUNGEN – SIEHE ABBILDUNGENSW.PDF**



## Abkürzungsverzeichnis

° C	Grad Celsius
ADNS	Animal Disease Notification System
AHSV	African horse sickness virus
ANIMO	Animal Movement
BTD	Bluetongue Disease
BTV	Bluetongue virus
EHDV	Epizootic haemorrhagic disease virus
EIP	Extrinsic incubation period
ELISA	Enzyme linked Immunosorbent Assay
EWR	Europäischer Wirtschaftsraum
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
GIS	Geographisches Informationssystem
IDW	Inverse Distance Weighted
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
km	Kilometer
m/s	Meter pro Sekunde
m-RNA	Messenger-RNA
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
OIE	Office International des Èpizooties
RNA	Ribonucleinsäure
SE	Standard Error
UK	United Kingdom
WDDV	Weighted Degree Day Value
WHO	World Health Organisation
WTO	World Trade Organisation

## 1 Einleitung

Der internationale Handel mit lebenden Tieren und Produkten tierischer Herkunft hat in den letzten Jahren aufgrund der Etablierung des europäischen Binnenmarktes sowie des europäischen Wirtschaftsraumes (EWR), des Wegfalls von Handels- und Zollbarrieren durch das internationale Zoll- und Handelsabkommen „General Agreement on Tariffs and Trade“ (GATT) und den Beitritt zur Welthandelsorganisation (WTO) zugenommen. Nach der Errichtung des gemeinsamen Marktes fielen die Kontrollen an den Binnengrenzen der Europäischen Union weg. Eine Reihe von Sicherungssystemen („Animal Movement“ [ANIMO], „Animal Disease Notification System“ [ADNS], Zertifizierungs- und Kennzeichnungssysteme) wurden zur Reduzierung des Seuchenverbreitungsrisikos innerhalb der Gemeinschaft eingerichtet. Eine Spezialeinheit der Europäischen Kommission zur Verhinderung von Betrug deckt jedoch immer wieder Verstöße gegen Gemeinschaftsvorschriften auf, so dass die Gefahr besteht, durch eingeführte und in der Inkubationszeit befindliche landwirtschaftliche Nutztiere Tierseuchen nach Deutschland einzuschleppen.

Hinzu kommt, dass auch Überträger gefährlicher Tierseuchen, insbesondere blutsaugende Arthropoden, durch den zunehmenden Personenreiseverkehr sowie durch eine mögliche globale Erwärmung in Gebiete vordringen, in denen sie vorher nur unzureichende Existenzbedingungen vorfanden.

Beim Auftreten von bestimmten gefährlichen Tierseuchen werden die von der Bundesregierung erlassenen und von der Europäischen Kommission bestätigten Notfallpläne („contingency plans“) eingesetzt. Es stellt sich jedoch die Frage, ob die zuständigen Behörden in allen betroffenen Gebieten die gleichen Maßnahmen anordnen oder ob gewisse ökologische Bedingungen und Faktoren berücksichtigt werden müssen, die eine Weiterverbreitung der eingeschleppten Erreger in andere Populationen befürchten lassen. Um diese Risiken vorhersagen zu können sind geographische Analysen unter der Verwendung von Geographischen Informationssystemen (GIS) erforderlich.

Folgende Fragen spielen dabei eine besondere Rolle:

1. Ist es möglich, dass importierte Tiere, die an ihrem Zielort in Deutschland nicht unmittelbar geschlachtet werden, über blutsaugende Arthropodenvektoren die Ansiedlung einer Krankheit, die in Deutschland bisher nicht vorkommt, bewirken?
2. Wenn ja, welche Gebiete in Deutschland sind aufgrund ihrer Klima- und Umweltbedingungen gefährdet?

Für die Bluetongue Disease (BTD), eine Krankheit der Liste A des OIE (Office International des Èpizooties), wird in dieser Arbeit eine Risikoabstufung für Deutschland erstellt.

Diese Untersuchung ist wegen der seit 1998 auftretenden Ausbrüche von BTD in Griechenland, Bulgarien, Italien, Korsika, auf den Balearen und im ehemaligen Jugoslawien aktuell.

Das Vorkommen von BTD in diesen Breitengraden Europas ist eine neue Entwicklung.

Zusätzlich kann an diesem Modell beispielhaft die Anwendung von Geographischen Informationssystemen zur Risikoeinschätzung bei vektorübertragenen und somit klimaabhängigen Tierseuchen gezeigt werden.

## **2 Literaturübersicht: Vorstellen der Bluetongue Disease (BTD) mit besonderem Augenmerk auf die möglichen Vektoren**

### **2.1 Charakterisierung der Bluetongue Disease (BTD)**

#### 2.1.1 Erreger, Taxonomie

Das Bluetonguevirus (BTV) mit seinen bisher bekannten 24 Serotypen (Gorman, 1990) gehört zu den Orbiviren, Familie der *Reoviridae* (Gorman et al., 1983; Liebermann, 1985). Orbiviren haben eine Doppelstrang-RNA mit segmentiertem Genom (Osburn, 1994). BTV hat zehn Segmente, die zehn m-RNAs für sieben strukturelle sowie drei nichtstrukturelle Proteine codieren. Das Virus ist icosaedrisch und mit einer zweilagigen Proteinschicht umhüllt. Die äußere Schicht enthält unter anderem das Protein VP2, das den Serotyp spezifiziert (Tabachnick, 1996). Neue Varianten des BTV entstehen zum einen durch Reassortement der Gensegmente zwischen den Serotypen, wobei die Frequenz des Reassortements des BTV in *Culicoides* höher ist als in Schafen (Samal et al., 1987). Zum anderen entsteht die genetische Varianz beim BTV auch durch genetische Drift (Sugiyama et al., 1982; Kowalik und Li, 1991).

#### 2.1.2 Pathogenität, Virulenz und Wirtsspektrum

Anfällig für BTD sind hauptsächlich Schafe, aber auch Rinder, Ziegen und Wildwiederkäuer (Bowne, 1971). Die Ausprägung der klinischen Symptome reicht von perakuten Todesfällen bis zur inapparenten Infektion, abhängig sowohl von der Tierart, der Rasse, der Population als auch vom Serotyp des Virus und dem Übertragungsmodus. Die Schwere des Ausbruchs auf Zypern 1949 entsprang wahrscheinlich der Kombination aus einer empfänglichen Population und einem besonders virulenten Serotyp (Gambles, 1949). Im Gegensatz dazu benutzte Theiler (1908) ein besonders gering virulentes Isolat zur Impfung. BTD verbreitete sich in Südafrika mehr und mehr mit der Einführung europäischer Schafrassen, die empfänglicher für das Virus sind als afrikanische oder asiatische Rassen. Unterschiede zeigten sich auch in den verschiedenen Populationen (Bowne, 1971).

Rinder sind meist nur stille Träger des BTV. 1966 gelang es Bowne und Mitarbeitern, einen Ausbruch bei Rindern mit den gleichen klinischen Symptomen wie bei Schafen zu beobachten. Grundsätzlich verläuft die Infektion bei Rindern jedoch inapparent (Spreull, 1905; Bekker

et al., 1934; DeKock et al., 1937; Parsonson et al., 1994). Nach Bowne (1971) zeigen nur 2 % der infizierten Rinder klinische Symptomatik, die Virulenz der Erreger steigt nach zwei bis drei Wirtspassagen.

Auch Ziegen sind für das BTV empfänglich (Hourrigan und Klingsporn, 1975; Erasmus, 1975), wobei meist eine ähnlich geringe Ausprägung der Symptome angenommen wird wie bei Rindern (Bowne, 1971).

Wildwiederkäuer sind in unterschiedlichem Maße für das BTV empfänglich. So infizierten Vosdingh und Mitarbeiter (1968) in den USA den Weißwedelhirsch, was zu hochgradigen Erkrankungen und Todesfällen führte, während Trainer und Jochim (1969) an infizierten Wapiti-Elchen gering ausgeprägte bis keine Symptome feststellten. Insgesamt sind bei fast 100 Arten von Wiederkäuern serologische Nachweise des BTV geführt worden (Trainer und Jochim, 1969; Hoff und Hoff, 1976; Heuschele et al., 1982; Doyle und Heuschele, 1983).

Es wurden sehr wenige Untersuchungen durchgeführt, um BTV bei anderen Tierarten nachzuweisen. Allerdings haben nach Howell (1963) DuToit und Goosens im Jahr 1955 das Virus bei wilden Nagern isoliert.

### 2.1.3 Tenazität des Bluetongue Virus (BTV)

BTV ist säurelabil unter pH 6,3 (Owen, 1964), jedoch stabil gegenüber Äther- und Chloroformbehandlung (Svehag et al., 1966). In defibriniertem konserviertem Blut bleibt BTV bei Raumtemperatur 25 Jahre lang infektiös (Neitz, 1948). Auch bei  $-70^{\circ}\text{C}$  bleibt BTV im Sperma (Howell, 1963) oder in flüssigem Stickstoff über Monate infektiös (Bowen und Howard, 1984).

Inaktiviert wird das Virus durch eine fünfminütige Erhitzung auf  $60^{\circ}\text{C}$  (Becker, 1968), im Blut innerhalb von fünf Minuten bei Zugabe von 70 %igem Ethylalkohol, Natronlauge oder 3 %iger Wescodynlösung (McCrary et al., 1959). Auch gegenüber 3 %iger Formalinlösung in Organsuspensionen zeigt sich BTV nach 48 bis 72 Stunden labil (Becker, 1968). Empfindlich ist das Virus ebenfalls gegenüber jodhaltigen Desinfektionsmitteln (Hübschle, 1979).

## 2.2 Übertragungsvorgang

### 2.2.1 Zyklische Übertragung durch belebte Vektoren

#### 2.2.1.1 Überträgerspezies

Als wichtigster Überträger des BTV gelten Mücken der Gattung *Culicoides*.

Von über 1400 verschiedenen *Culicoides*-Arten wurden bisher erst 24 mit BTV in Verbindung gebracht. Die tatsächliche Krankheitsübertragung ist nur bei sieben Spezies bewiesen, und zwar bei *C. actoni*, *C. brevitarsis*, *C. fulvus*, *C. imicola*, *C. insignis*, *C. nubeculosus* und *C. variipennis*.

Die restlichen Arten wurden im Laborversuch infiziert und/oder das Virus wurde bei Seuchenausbrüchen aus *Culicoides* spp. isoliert (Mellor, 1990; Mellor et al., 2000; Wittmann, 2000).

In Tabelle 1 sind die betroffenen Arten und die erfolgten Nachweise aufgelistet.

Tab.1: *Culicoides* spp., die mit BTV in Verbindung gebracht wurden (modifiziert nach Mellor, 1990, S. 144 und Wittmann, 2000, S. 19-20)

Untergattung	Art	Virus-isolation	Labor-infektion	Nachweis der Krankheitsübertragung	Literaturnachweis
<i>Avartia</i>	<i>C. actoni</i>	-	+	+	Standfast et al., 1985
	<i>C. bolitinos</i>	+	+	-	Barnard et al., 1998 Venter et al., 1998
	<i>C. brevipalpis</i>	-	+	-	Standfast et al., 1985
	<i>C. brevitarsis</i>	+	+	+	Muller et al., 1982 St. George und Muller, 1984 Muller, 1985 Standfast et al., 1985 Muller, 1987 Bellis et al., 1994
	<i>C. fulvus</i>	+	+	+	Standfast et al., 1979 Standfast et al., 1985

Untergattung	Art	Virus- isolation	Labor- infektion	Nachweis der Krankheits- übertragung	Literaturnachweis
<i>Avartia</i> (Fortsetzung)	<i>C. gulbenkiani</i> (= <i>C. tororoensis</i> )	+	-	-	Walker und Davies, 1971
	<i>C. imicola</i>	+	+	+	Du Toit, 1944 Venter et al., 1991 Nevill et al., 1992 Venter et al., 1998
	<i>C. obsoletus</i>	+	+	-	Mellor und Pitzolis, 1979 Mellor und Jennings, 1986
	<i>C. orientalis</i>	+	-	-	Sendow et al., 1993
	<i>C. pusillus</i>	+	-	-	Mo et al., 1994
	<i>C. wadai</i>	+	+	-	Standfast et al., 1985 Bellis et al., 1994 McCull et al., 1994
<i>Beltranmyia</i>	<i>C. pycnostictus</i>	+	-	-	Nevill et al., 1992
<i>Culicoides</i>	<i>C. magnus</i>	-	+	-	Venter (nach Wittmann, 2000)
	<i>C. impunctatus</i>	-	+	-	Mellor und Jennings, 1986 Jennings und Mellor, 1988
<i>Diphaeomia</i>	<i>C. debilipalpis</i>	-	+	-	Mullen et al., 1985
	<i>C. stellifer</i>	+	-	-	Mullen und Anderson, 1998
<i>Hoffmania</i>	<i>C. insignis</i>	+	+	+	Greiner et al., 1985 Tanya et al., 1992
	<i>C. milnei</i>	+	-	-	Walker und Davies, 1971
	<i>C. peregrinus</i>	-	+	-	Standfast et al., 1985
	<i>C. venustus</i>	-	+	-	Jones et al., 1983
<i>Monoculicoides</i>	<i>C. nubeculosus</i>	-	+	+	Mellor und Boorman, 1980 Mellor und Jennings, 1986 Jennings und Mellor, 1988
	<i>C. variipennis</i>	+	+	+	Foster et al., 1968 Foster und Jones, 1973 Jones und Foster, 1978 Jones et al., 1981
<i>Oecacta</i>	<i>C. oxystoma</i>	-	+	-	Standfast et al., 1985
<i>Similis Gruppe</i>	<i>C. expectator</i>	+	-	-	Nevill et al., 1992

Auch Zecken können als biologische Vektoren für BTD fungieren. So konnten Scott und Mitarbeiter (1985) eine orale Infektion und Übertragung durch *Ornithodoros coriaceus* nach einer Inkubationszeit von 42 Tagen nachweisen. Ob Zecken allerdings in der Verbreitung des BTV eine epidemiologische Rolle spielen, ist unklar (Mellor und Boorman, 1995).

#### 2.2.1.2 Orale Infektion

Im Normalfall nimmt das *Culicoides*-Weibchen den BTD-Erreger oral bei der Blutmahlzeit auf. Im Gegensatz zur Aufnahme anderer Flüssigkeiten, wie z. B. Nektar, kontrahiert sich bei Blutaufnahme das Divertikulum des Mitteldarms, um die aufgenommene Flüssigkeit direkt in den hinteren Teil des Mitteldarms zu transportieren (Megahed, 1956).

In den Zellen des hinteren Mitteldarms findet die erste Virusreplikation statt. Von dort aus werden Viren ins Hämocoel entlassen, die dann die sekundären Zielorgane infizieren. Unter anderem sind dies die Speicheldrüsen. Mit den dort replizierten Viren ist eine Übertragung auf Wirte bei einer erneuten Blutmahlzeit möglich. Der Vorgang von der oralen Aufnahme bis zur möglichen Transmission dauert bei 25° C zwischen 10 und 15 Tagen (Mellor, 1990). Diese Zeitdauer nennt man „extrinsic incubation period“ (EIP) (Wittmann und Baylis, 2000). Der einmal infizierte Vektor bleibt üblicherweise sein restliches Leben lang infiziert (Mellor, 1990). Bei einer Lebensdauer von ca. 30 Tagen (Grant et al., 1967) und einer Blutaufnahme alle drei bis vier Tage (Birley und Boorman, 1982) ergibt sich die Möglichkeit einer Weiterverbreitung des BTV ungefähr zwei- bis dreimal pro Individuum. Dabei hängen Lebensdauer und Stechfrequenz allerdings von vielen Gegebenheiten ab, v. a. von der Temperatur (Wittmann, 2000), so dass eine genaue Berechnung der Übertragungsrate schwer möglich ist.

#### 2.2.1.3 Parenterale Inokulation

Mit einer feinen Glasnadel kann BTV direkt ins Hämocoel appliziert werden (Boorman 1975). Damit umgeht man die Darmbarriere und kann auch *Culicoides*-Arten und -Individuen infizieren, die natürlicherweise nicht empfänglich wären (Mellor et al., 1975; Mellor und Jennings, 1980).

Dies ist kein vollkommen unnatürliches Phänomen, da bei Doppelinfektionen mit BTV und Microfilarien der Rundwurmart *Onchocerca cervicalis* ebenso die Darmbarriere des ursprünglich nicht empfänglichen Wirts gestört wird und somit Infektionen mit BTV möglich gemacht werden (Mellor und Boorman, 1980; Turell et al., 1984). Auch besteht die Möglichkeit, dass



innerhalb von *Culicoides*-Arten, die nicht empfänglich sind, Individuen mit einem von Mellor und Mitarbeitern (2000) so genannten „leaky gut“ [„leaky gut“ bedeutet „durchlässiger Darm“, Anm. d. Verf.] ausgestattet sind. Bei weiblichen *C. nubeculosus* mit einem „leaky gut“ wird die Darmbarriere umgangen, so dass das Virus direkt ins Hämocoel übergeht, ohne sich erst in den Darmzellen zu vermehren (Mellor et al., 1998). Diese Eigenschaft ist nicht erblich, sondern entsteht durch Umweltbedingungen. So ist es bei Temperaturen zwischen 30° C und 35° C wahrscheinlich, dass diese Individuen massenhaft vorkommen, was eine Steigerung der Empfänglichkeit z. B. bei *C. nubeculosus* von 1 % auf 10 % bewirken kann. Sobald das Virus das Hämocoel erreicht hat, wird eine weitere Replikation und Transmission für die meisten Arboviren auch durch Insekten möglich, die normalerweise nicht als Vektoren fungieren (Mellor et al., 2000).

#### 2.2.1.4 Transovarielle Übertragung

Transovarielle Übertragung wird nicht ausgeschlossen, aber als höchst unwahrscheinlich erachtet. So waren Versuche von Jones und Foster (1971) sowie Jennings (1980) (nach Mellor, 1990) erfolglos, bei *C. variipennis* eine transovarielle Übertragung stattfinden zu lassen. Dies wird durch Nunamaker und Mitarbeiter (1990) sowie durch Fu und Mitarbeiter (1999) bestätigt.

#### 2.2.1.5 Übertragungsbarrieren in individuellen *Culicoides*

Auch innerhalb einer Vektorspezies ist nur ein Teil der Population in der Lage, das Virus zu übertragen. Das liegt an einer Reihe von Barrieren, die im Individuum vorhanden sein können. Am besten erforscht ist dies beim BTV-*Culicoides variipennis*-System. Mellor und Mitarbeiter (2000) beschreiben insgesamt vier Barrieren, die in diesem System vorkommen; zwei weitere sind möglich, aber bisher nicht nachgewiesen. Dies wird durch Fu und Mitarbeiter (1999) bestätigt. Abbildung 1 zeigt den Infektionsweg mit den möglichen Barrieren.

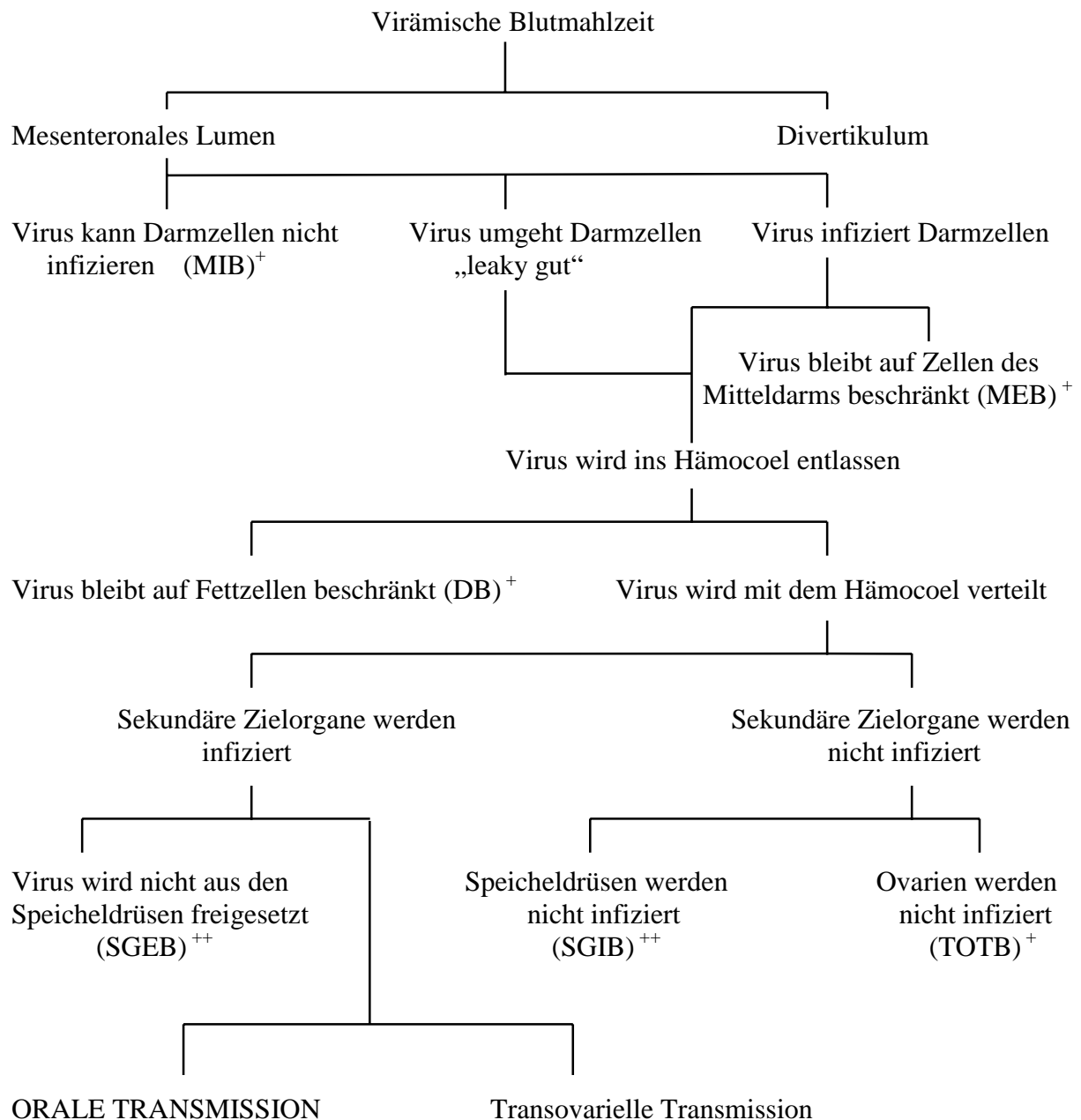


Abb.1:

Hypothetische Barrieren bei der Infektion hämatophager Insekten mit Arboviren (modifiziert nach Mellor et al., 2000, S. 319)

<sup>+</sup> Barrieren, die im AHSV [= African horse sickness virus, Anm. d. Verf.] / BTV - *Culicoides variipennis* - System nachgewiesen wurden

<sup>++</sup> Barrieren, die bisher noch nicht im AHSV / BTV - *C. variipennis* - System nachgewiesen wurden

MIB - mesenteron infection barrier      TOTB - transovarial transmission barrier

MEB - mesenteron escape barrier      SGIB - salivary gland infection barrier

DB - dissemination barrier      SGEB - salivary gland escape barrier

Diese Barrieren werden durch ein bestimmtes Gen vererbt. Tabachnick (1991) stellt darüber anhand der Züchtung von *Culicoides variipennis* über mehrere Generationen folgende Hypothesen auf:

1. Resistenz oder Empfänglichkeit der Gnitzen für BTV in den verschiedenen Linien werden von einem einzigen Genlocus „blu“ kontrolliert, der die Allele blu-r (resistent) und blu-s (empfindlich) besitzt;
2. der mütterliche Genotyp bestimmt den Phänotyp der Nachkommen;
3. das väterliche Gen ist das dominante Allel im Genotyp der Nachkommen.

Das bedeutet, dass männliche *C. variipennis* mit dem Genotyp blu-rr auf die F1-Generation keine Auswirkung hätten, da diese den Phänotyp ihrer Mutter hätten. In der F2-Generation wäre allerdings das blu-r-Allel dominant. In einer Population mit weiblichen *C. variipennis* mit dem Genotyp blu-rr wäre die komplette F1-Generation resistent. Dieser monogene Erbgang kann zu einer schnellen Änderung der Empfänglichkeit in den Generationen führen. Die Barrieren können aber auch durch äußere Faktoren, wie z. B. die Temperatur, beeinflusst werden (Mullens et al., 1995; Wellby et al., 1996; Mellor et al., 1998).

### 2.2.2 Mechanische Übertragung durch belebte Vektoren

Eine rein mechanische Übertragung durch Arthropoden, z. B. durch die Schaflausfliege *Melophagus ovinus*, wurde ebenfalls nachgewiesen (Luedke et al., 1965). Häufig sind mechanische Vektoren in ihrer Wirtspräferenz nicht wählerisch und können dadurch eine gewisse Rolle spielen (Mellor und Boorman, 1995). Im Laufe der Jahre stellte sich aber heraus, „that none of these [die mechanischen Überträger der BTD, Anm. d. Verf.] is likely to be of major significance in the epidemiology of AHS or BT[D]“ (Mellor und Boorman, 1995, S. 7).

### 2.2.3 Iatrogene Übertragung

Die Übertragung des BTV durch viruskontaminierte Spritzen im Rahmen tierärztlicher Tätigkeiten stellt eine weitere Möglichkeit dar (Jones et al., 1981).

## 2.2.4 Diaplazentare Übertragung

BTV sind blutzellassoziiert, und zwar gebunden an Monozyten, Lymphozyten und Erythrozyten. Nur zu Beginn der Virämie findet sich freies Virus im Plasma. Das Vorkommen von Virus in mononuklearen Zellen ermöglicht dem BTV ein Überwinden der Plazentaschranke, wahrscheinlich durch Migration von Monozyten (Osburn, 1994).

Nicht alle BTV haben abortogene oder teratogene Wirkungen. Es ist wahrscheinlich, dass nur für bestimmte Linien innerhalb bestimmter Serotypen die Prädilektionsstelle der gravide Uterus ist (Waldvogel et al., 1992 a; Waldvogel et al., 1992 b; Waldvogel et al., 1992 c; Carr et al., 1994).

Die Auswirkungen einer BTV-Infektion während der Gravidität reichen von embryonalem Fröhntod bis hin zu Missbildungen (Osburn, 1994), Mumifikation und Totgeburt sowie Dysfunktionen der lebend geborenen Frucht (Luedke, 1985). Entscheidend für die Folgen sind das Stadium der Gravidität, Charakteristika des Virus, Eintrittspforte und Infektionsweg (Luedke, 1985).

Der embryonale Fröhntod hängt mit sekundären Effekten der Infektion zusammen, die einen Anstieg des PGF-2 alpha im Blut bewirken (Odeon et al., 1992). Findet eine Infektion zu einem späteren Zeitpunkt der Trächtigkeit statt, kommt es zu Missbildungen des Gehirns, da das Virus eine Affinität zu undifferenzierten Nervenzellen bzw. nach deren Entwicklung zu Gliazellen hat (Osburn et al., 1971). Auch Virämie nach der Geburt, später Ausbruch und immunologische Reaktionslosigkeit sind möglich (Luedke, 1985). Je nach Serotyp kann eine Infektion während der Gravidität auch ohne Auswirkung auf die Frucht bleiben (Flanagan et al., 1982). Eine persistente Virämie oder Immuntoleranz der Frucht wurde vermutet (Luedke et al., 1975), konnte aber nicht bestätigt werden (MacLachlan und Osburn, 1983; Roeder et al., 1992).

## 2.2.5 Transspermale Übertragung

BTV wird über das Sperma nur während der Virämie übertragen (Bowen et al., 1983 a; Bowen et al., 1985). Die Virämiedauer hängt von der Tierart ab und dauert zwischen 14 und 100 Tagen (MacLachlan et al., 1992; Barratt-Boyes und MacLachlan, 1994; MacLachlan et al., 1994). Es wird mit den Blutzellen übertragen, so z. B. mit Lymphozyten in der Samenflüssigkeit (Osburn, 1994), nicht aber durch das Spermium selbst (Akita, nach Osburn, 1994). Es gibt jedoch epidemiologisch keinerlei Hinweis darauf, dass dieser Übertragungsweg eine

Rolle spielt (Osburn et al., 1981). Die Möglichkeit der transpermalen Übertragung ist zwar gegeben (Luedke et al., 1975), aber ebenso gibt es Untersuchungen, die besagen, dass BTV auch von serologisch positiven Bullen durch künstliche Besamung nicht übertragen wird (Sawyer et al., 1992).

Eine akute Infektion mit BTV führt zu einer vorübergehenden Infertilität bei Bullen und Schafböcken (Bowen et al., 1983 a).

### 2.2.6 Übertragung durch Embryotransfer

Beim Embryotransfer unter Standardbedingungen wird BTV nicht übertragen. Es serokonvertieren weder das Empfängertier noch die Frucht, egal ob Eizelle oder Spermium der Donortiere von BTV-infizierten Tieren stammen. Das gilt sowohl für Schafe (Hare et al., 1988) als auch für Rinder (Bowen et al., 1983 b).

## 2.3 Infektion, klinische Manifestation, Erregerausscheidung

BTD ist eine infektiöse, nicht kontagiöse Erkrankung (Parsonson, 1990; Osburn, 1994). Nachdem der Erreger parenteral, meist durch den Stich eines infizierten Vektors, in den Wirtsorganismus eingedrungen ist, folgt eine Inkubationszeit zwischen zwei und zwölf Tagen (Jochim et al., 1965). Im Durchschnitt liegt sie bei sechs bis neun Tagen (Pini, 1976).

Das erste klinische Symptom ist Fieber, welches vorübergehend ist oder bis zu 14 Tage anhalten kann. Durchschnittlich dauert es fünf bis sieben Tage (Erasmus, 1975). Eine Virämie ist frühestens drei Tage p. i. festzustellen (Jeggo et al., 1983; Jeggo et al., 1986; Koumbati et al., 1999). Die erste Replikation des Virus findet in den lymphatischen Geweben statt (Lawman, 1979). Danach zeigt das Virus eine Affinität zu Endothelzellen, periendothelialen Zellen sowie Perizyten von Kapillaren und kleineren Blutgefäßen (Stair, 1968). Während der Höhepunkte des Fiebers und der Virämie zeigt sich hämatologisch eine deutliche Leukopenie (Lawman, 1979). Das BTV ist in allen Stadien der Infektion eng mit den Erythrozyten vergesellschaftet und in einer Blutprobe während der Virämie in der Erythrozytenfraktion in der höchsten Konzentration nachweisbar (Luedke, 1970).

Oft zeigen sich während des ersten Temperaturanstiegs Hyperämie, Schwellung der Mund- und Nasenschleimhäute, Salivation, Schwellung der Zunge, vermehrtes Lecken der Lippen und der Nase. Danach folgen ein Aufplatzen der Epidermis an den Kommissuren der Lippen

und Verkrustung dieser Stellen sowie des Nasenspiegels. Außerdem treten Gesichtsoedem, Unterkieferödem und gelegentlich auch Augenlid- und Ohrödeme auf. In dieser Zeit zeigen sich Hämorrhagien der Mucosa der Mundhöhle, die als Petechien oder Ekchymosen sichtbar sind. In seltenen Fällen wird die Zunge zyanotisch („Bluetongue Disease“). Die epithelialen Läsionen können chronisch werden und sich sekundär infizieren. Während der akuten Phase der Infektion zeigen die infizierten Tiere Steifheit, Lethargie und Anorexie. Die Steifheit hängt zum einen mit einer Entzündung und petechialen Blutungen im Kronsaum der Klauen zusammen, zum anderen mit einer Degeneration der geschädigten Muskulatur. Torticollis kann eine Folge sein, die dann meist zum Tode führt. Auch können die Läsionen der Maul- und Ösophagusschleimhaut zum Erbrechen und dann häufig zur Aspirationspneumonie führen, die ebenfalls meist tödlich endet (Parsonson, 1990).

### 2.3.1 Morbidität und Letalität

Morbidität und Letalität sind abhängig von Tierart, Rasse und Alter des infizierten Tieres, Serotyp und Zelllinie des Virus sowie anderen Umweltbedingungen (Mellor und Boorman, 1995). So berichten z. B. Hooper und Mitarbeiter (1996) von Letalitätsraten zwischen 40 und 80 %; ebenso Bowne (1971) über den Ausbruch in Zypern 1949 - auch dort lag die Letalität zwischen 60 und 70 %. Mellor und Mitarbeiter beschreiben Morbiditäts- und Letalitätsraten bei empfänglichen Schafen von bis zu 70 % (Mellor et al., 1983). Gorman (1990) bestätigt Letalitätsraten bis zu 75 %.

Andererseits wird aus endemischen BTM-Gebieten, entsprechend dem Immunstatus der dort ansässigen Tiere, von weitaus niedrigeren Morbiditäts- und Letalitätsraten berichtet, so z. B. in Südafrika 2 bis 30 % (Erasmus, 1975) oder in den USA durchschnittlich 10 % Morbidität bei durchschnittlich 5 % Letalität (Hardy und Price, 1952; McKercher et al., 1953; Moulton, 1961).

Die gefährdeten Gebiete, in denen bei einem Ausbruch eine hohe Morbiditäts- und Letalitätsrate resultieren würde, liegen dementsprechend in bisher BTM-freien Zonen, an den geographischen Grenzen der bisherigen Verbreitung, den „epizootic hot spots“ (Parsonson, 1992, S. 718).

### 2.3.2 Virämie

Die Virämiephase ist verlängert, da es sich um eine zellassozierte Virämie handelt. Bei Schafen und Ziegen dauert die Virämie zwischen 14 und 51 Tagen, meist ab dem dritten Tag p. i. (Jeggo et al., 1983; Jeggo et al., 1986; Koumbati et al., 1999). Bei Rindern konnte man eine Virämie bis zu 100 Tagen nachweisen. Eine wirklich persistente Infektion kommt nicht vor (MacLachlan et al., 1992; Barratt-Boyes und MacLachlan, 1994; MacLachlan et al., 1994).

Diese langandauernde Virämie resultiert nach einer Hypothese von MacLachlan und Mitarbeitern (1992) daraus, dass das BTV die Erythrozyten als so genanntes „Trojanisches Pferd“ benutzt. Die Viren befallen wahllos alle Blutzellen. In den empfänglichen Zellen, z. B. den Monozyten, findet dann Virusreplikation mit anschließender Lysis der Zelle statt, während das Virus in den roten Blutkörperchen reaktionslos bleibt und dadurch im Blutkreislauf zirkuliert, ohne sich zu vermehren. Spätestens bei Ende der Lebensdauer der betroffenen Erythrozyten wird das Virus durch die inzwischen aufgebaute humorale und zelluläre Abwehr des Wirts eliminiert. Bei Rind und Wildwiederkäuer beträgt die Lebensdauer von Erythrozyten 120 bis 160 Tage (Wiesner und Ribbeck, 1991). In dieser Zeit kann es zur Aufnahme befallener Erythrozyten durch einen empfänglichen Vektor während einer Blutmahlzeit kommen, der bei der Verdauung der Zellen das Virus wieder freisetzt und eine erneute Vermehrung möglich macht (MacLachlan et al., 1992).

## 2.4 Geschichtlicher Überblick

Bluetongue Disease wurde das erste Mal 1876 in Südafrika (Anonymous, 1876-1877) beschrieben. Hutcheon bezeichnete es 1881 als „Fever“ bzw. 1902 als „Malarial Catarrhal Fever of sheep“. Spreull (1902 a; 1902 b; 1905) wies nach, dass sich die Krankheit über ein zellfreies Blutfiltrat übertragen lässt; er war es, der der Erkrankung den Namen „Bluetongue Disease“ gab. 1906 vermutete Theiler, dass die Ursache der Erkrankung ein Virus ist.

Der erste Ausbruch außerhalb Afrikas wurde 1949 von Gambles auf Zypern festgestellt. Wahrscheinlich wurde die Krankheit jedoch schon 1924 dort beobachtet (Sellers, 1975). Weiterhin wurde BTD in Israel (Komarov und Goldsmit, 1951), Syrien und der Türkei (Tamer, 1949; Gullec, 1972; Sellers, 1975), Pakistan (Sarwar, 1962), Indien (Sapre, 1964), Portugal sowie Spanien (Lopez und Sanchez Botija, 1958) und Peru (Seifert, 1962) gemeldet.

Der erste Ausbruch von BTD in Texas, USA, im Jahr 1948 wurde von Hardy und Price beschrieben (Hardy und Price, 1952). McKercher und Mitarbeiter isolierten später in

Kalifornien das BTV und erkannten es als Auslöser der Krankheit (McKercher et al., 1953). In Australien und Brasilien (St. George et al., 1978) wurde das Virus isoliert, ohne dass es klinische Erkrankungen gab.

#### 2.4.1 Neuere Ausbrüche

In den Jahren 1993 bis 1994 wurde BTD in Australien, Zypern und Jordanien nur serologisch nachgewiesen, es gab keine Ausbrüche mit klinischer Symptomatik. Dagegen wurden Ausbrüche in Botswana (eine erkrankte Ziege), Indien (309 Ausbrüche, insgesamt 42 983 Fälle, Serotyp nicht identifiziert), Israel (61 Ausbrüche, 547 Fälle, alle Serotyp 16), Japan (ein Fall), Südafrika (1993: 69 Fälle, 1994: 107 Fälle) und Zimbabwe (1993: 9 Fälle, 1994: ein Fall) gemeldet (OIE, 1994).

1996 gab es zwei epidemiologisch wichtige Entwicklungen: Zum einen gab es einen deutlichen Anstieg der Vorkommenshäufigkeit von BTD in Südafrika (1995: 61 Ausbrüche; 1996: 138 Ausbrüche), zum anderen wurde BTD in Pakistan gemeldet. Die Krankheit war dort das letzte Mal 1959 vorgekommen. In Israel wurden wieder 14 Ausbrüche gemeldet (149 Fälle) (OIE, 1996).

1997 ging die BTD in Südafrika wieder merklich zurück (41 Ausbrüche). Auch aus Namibia und Zimbabwe wurden zwei bzw. vier Ausbrüche gemeldet. In Kenia gab es im letzten Quartal des Jahres 1997 im Zusammenhang mit den starken Regenfällen durch „EL NIÑO“ überall im Land klinische Anzeichen der Erkrankung, die dann auch Anfang 1998 nachgewiesen wurde. In Indien und in Israel wurden weniger Ausbrüche gemeldet als im Jahr zuvor (Indien: 22, Israel: einer) (OIE, 1997).

Eine weitere wichtige Entwicklung begann 1998. BTD wurde nach 19 Jahren zum ersten Mal wieder in Europa gemeldet, und zwar in Griechenland auf den Inseln Kos, Rhodos und Samos. Im November wurden 75, im Dezember neun Ausbrüche festgestellt. Verantwortlich gemacht wurden *Culicoides imicola*, die durch ost-nord-östliche Winde auf die Insel kamen (OIE, 1998).

Ende 1999 gab es weitere Ausbrüche in Europa: „the further extension of the BTV 9 outbreak, at the time of writing in late 1999, into European Turkey, northern Greece, and Bulgaria is an especially worrying development. These are areas where *C. imicola* has not been reported but where *C. obsoletus* is common“ (Mellor et al., 2000, S. 315). Auch in der Ägäis kamen im Jahr 1999 Fälle von BTD vor. Seit August 2000 wurden auf Sardinien 71 Ausbrü-



che festgestellt. 755 Schafe waren klinisch und/oder serologisch positiv, ebenso konnte Virus isoliert werden. 190 Schafe starben (Emergency Report, 1. September 2000). Im September 2000 kam es zu Ausbrüchen auf den Balearen. Auf Mallorca waren 79 Herden, auf Menorca 61 Herden betroffen - bis zum 10. Oktober 2000 starben 767 Schafe (Emergency Report, 11. Oktober 2000). Im Jahr 2001 wurde auf Korsika ein Ausbruch gemeldet (Emergency Report, 16. Juli 2001). Die neuesten Ausbrüche verlagern sich immer weiter in den Norden. Korsika befindet sich bereits auf dem 42. Grad nördlicher Breite. Auch trat BTM im September 2001 wieder in Bulgarien (im westlichsten Teil, dem Bezirk Kyustendil) auf (Emergency Report, 21. September 2001), ebenso in Griechenland (Emergency Report, 17. September 2001). Es handelte sich hierbei wahrscheinlich um einen gering virulenten Klon, da nur eine Mortalität von 1 % bei einer Morbidität von 3,5 % bestand. Ein Überwintern des Virus wird als unwahrscheinlich erachtet. Die Ausbrüche fanden im Gebiet von Asprangeli (39°48' nördlicher Breite) bis Grevena Smixi (40°04' nördlicher Breite) statt. Auch in Italien wurden 2001 wieder Ausbrüche in Kalabrien und auf Sardinien gemeldet (Emergency Report, 18. September 2001). Erstmals trat im September 2001 BTM in Mazedonien in der Region Kriva Palanka auf (Emergency Report, 5. Oktober 2001), was die Befürchtung des Vorrückens der Krankheit nach Norden weiter untermauert. Serologische Untersuchungen deckten insgesamt 160 Fälle auf (Emergency Report, 6. November 2001). Im Kosovo wurden im August und September 2001 sechs Ausbrüche gemeldet (Emergency Report, 10. Oktober 2001). Das Referenzlabor bestätigt einen Ausbruch in der Republik Jugoslawien (Emergency Report, 23. November 2001), in Kroatien besteht der Verdacht einer Infektion (Emergency Report, 14. Dezember 2001). Im gesamten ehemaligen Jugoslawien ist 2001 der nördlichste Ausbruch bei 45°30' nördlicher Breite gemeldet worden (Roeder, 2001).

## **2.5 Überblick über die Situation in Europa**

BTV ist in Europa nicht endemisch, es gibt aber immer wieder Ausbrüche (Mellor et al., 2000). Das Auftreten von BTV ist an das Vorkommen kompetenter Vektoren gebunden, die wiederum vom Klima abhängig sind. „The global distributions of BTV [...] are therefore limited to those geographical areas where competent vectors are present and to those times of the year when climatic conditions are favourable for vector activity“ (Mellor und Boorman, 1995, S. 2). BTV kommt in Europa zwischen 35° südlicher und 40° nördlicher Breite (Neuester Stand: bis 45° nördlicher Breite; s. Kap. 2.4.1), weltweit zwischen 30° südlicher und 50° nördlicher Breite vor (Sellers, 1991).

Bis auf die Epidemie, die sich in Spanien und Portugal von 1956 bis 1960 hielt und mit 180 000 toten Schafen der größte gemeldete Ausbruch überhaupt ist, sowie Ausbrüchen auf Zypern (Gambles, 1949) und einigen griechischen Inseln 1979 (Mellor und Boorman, 1995), war der Rest Europas bis 1998 frei von BTB. Daraus resultiert für Europa „a serologically naive, highly susceptible ruminant population, completely vulnerable to any new incursion.“ (Mellor et al., 2000, S. 315).

Seit 1998 gibt es wieder Ausbrüche in Europa: 1998 auf griechischen Inseln, 1999 erneut auf griechischen Inseln, ebenso in Bulgarien (Mellor et al., 2000), im Jahr 2000 auf Sardinien (Emergency Report, 1. September 2000) und auf den Balearen (Emergency Report, 11. Oktober 2000). 2001 trat BTB sogar bis zum 45. Breitengrad im ehemaligen Jugoslawien auf (Roeder, 2001).

## 2.6 Epidemiologie

### 2.6.1 Einfluss des Klimas

Als vektorübertragene Krankheit ist BTB an das Vorkommen von Vektoren gebunden. Diese wiederum sind von den klimatischen Bedingungen abhängig (Mellor und Boorman, 1995). Nach den neuesten Erkenntnissen ist ein Überleben von BTV in einem bestimmten Gebiet auf lange Sicht nur mittels Übertragung durch Arthropodenvektoren gesichert (Gibbs und Greiner, 1994). So wies z. B. Ward (1996) nach, dass zwischen klimatischen Faktoren und der Inzidenz von BTB eine starke Abhängigkeit besteht. *Culicoides* Spezies sind generell dann aktiv, wenn das Wetter warm, feucht und windstill ist (Standfast und Dyce, 1972; Murray, 1975; Boorman, 1993).

### 2.6.2 Einteilung in geographische Zonen

Nach Gibbs und Greiner (1994) kann man die Welt BTB betreffend in vier Zonen einteilen (s. Abb. 2), wobei die Grenzen dieser Zonen dynamisch sind und sich je nach Klima verschieben:

1. Die *endemic zone*: Hier sind das ganze Jahr über Infektionen nachweisbar.
2. Die *epidemic zone*: Hier gibt es jährlich oder in etwas längeren Abständen Ausbrüche.
3. Die *incursive zone*: Die Krankheit tritt nur sporadisch auf.

4. In der vierten Zone ist die Krankheit noch nie aufgetreten und ein Auftreten auch sehr unwahrscheinlich, falls sich nicht die Temperaturen durch die globale Erwärmung drastisch ändern.

Innerhalb der *endemic zone* zeigt sich das ganze Jahr über Virusaktivität. In den afrikanischen Tropen wurden allerdings Spitzen in der Transmissionsrate festgestellt, die anscheinend mit dem Transport von *Culicoides* durch die Winde in der innertropischen Konvergenzzone zusammenhängen.

Auch in der *epidemic zone* hat das Klima Einfluss. Klimatische Bedingungen können zu massenhafter Vermehrung der Vektoren führen, was Ausbrüche von BTD begünstigt.

Im Allgemeinen ist das Klima für eine stärkere Vermehrung der Vektoren in der *incurusive zone* nicht förderlich - so ergeben sich Ausbrüche in dieser Zone meist durch mit dem Wind gebrachte Vektoren, die sich den Sommer über vermehren und dann aussterben (Gibbs und Greiner, 1994).

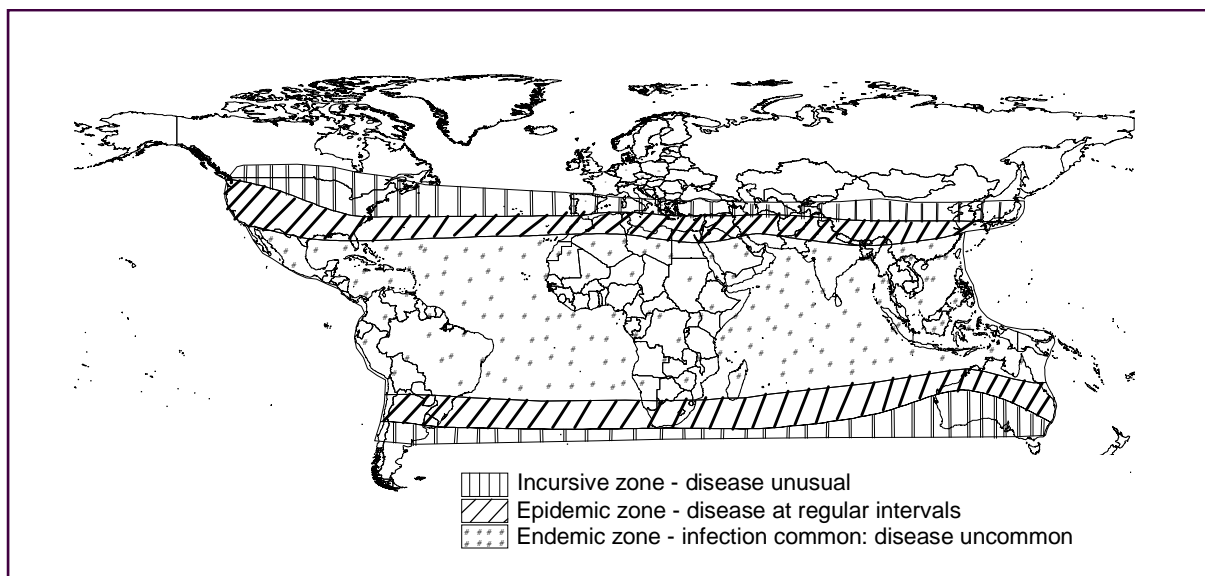


Abb. 2: Zonen (modifiziert nach Gibbs und Greiner, 1994, S. 210): „Geographical distribution of bluetongue virus and clinical disease. The three zones are depicted to simplify analysis of the epidemiology, they are dynamic and represent parts of a spectrum of virus activity dependent upon climate, altitude and other factors. They should not be considered geographically accurate; e. g., no clinical disease has been recorded in Australia or South America. One would normally expect that in the endemic zone, most ruminants have antibody to the virus; in the epidemic zone, the percentage of animals with antibody to the virus varies and is focal, although herds / flocks with antibody can be found; and in the incurusive zone, no ruminants with antibody can be found.“

### 2.6.3 Verbreitung

Die Verbreitung von BTV kann auf unterschiedlichen Wegen stattfinden: Vektoren können sich sowohl aktiv über kleinere Strecken fortbewegen, als auch passiv mit dem Wind über lange Distanzen mitgetragen werden. Auch ist eine Verbreitung über aktive Migration der Wirte (z. B. Wildwiederkäuer) oder einen Transport (z. B. zur Schlachtung) von Wirtstieren möglich (Sellers, 1992). Ein langfristiges Überleben des BTV hängt dann allerdings vom Vorhandensein von Vektoren ab (Gibbs und Greiner, 1994).

Zufällige Transporte von infizierten Vektoren per Schiff oder Flugzeug sind eine weitere Möglichkeit der Verbreitung von BTV (Sellers et al., 1978). Bei schwachen Winden bis zu 2 m/s oder Windstille können *Culicoides* spp. kurze Strecken aus eigenem Antrieb fliegen (Sellers, 1980; Murray, 1987). Bei Windstärken, die die Geschwindigkeit des eigenen Fluges überschreiten, ist ein Transport mit dem Wind bis zu 700 km möglich. Dies geschieht bei Temperaturen von 12 bis 35° C, in Höhen bis zu 1,5 km. Die Windgeschwindigkeit, bei der dieser passive Flug stattfindet, beträgt bis zu 40 km pro Stunde (Sellers, 1992). So wurden z. B. die Ausbrüche von BTD in Portugal 1956 (Sellers et al., 1978) und 1987 in Kanada auf Vektoren zurückgeführt, die mit dem Wind dorthin transportiert worden waren (Gibbs und Greiner, 1994). Auf Zypern 1977 wurde diese Erklärung auch dadurch bekräftigt, dass die geographische Lage andere Infektionswege erschwerte bzw. als unmöglich erscheinen ließ (Gibbs und Greiner, 1994).

### 2.6.4 Überwinterungsmechanismen des Erregers

Für *C. variipennis*, *C. imicola* und *C. brevitarsis* stellten Sellers und Mellor (1993) fest, dass bestimmte Bedingungen für die Überwinterung von BTV nötig sind:

1. Die durchschnittliche Tageshöchsttemperatur im kältesten Monat muss mindestens 12,5° C betragen.
2. Mindestens 45 % der Tageshöchsttemperaturen muss  $\geq 13^{\circ}$  C sein.
3. Der „weighted degree day value“ (WDDV)<sup>1</sup> muss mindestens 1,35 betragen.

---

<sup>1</sup> Berechnung des WDDV (jeweils für einen Monat): Tageshöchsttemperaturen von 18 - 29° C bekommen eine Punktzahl von 6, Tageshöchsttemperaturen von 13 - 17° C eine Punktzahl von 1 bis 5. Anschließend wird die Gesamtpunktzahl durch die Anzahl der Tage des Monats geteilt.

4. Höchstens 40 Tage im Jahr dürfen eine Maximaltemperatur  $< 13^{\circ}\text{C}$  aufweisen, davon höchstens zehn Tage direkt aufeinander folgend.

Es stellte sich heraus, dass selbst kurzfristige Temperaturstürze unter  $0^{\circ}\text{C}$  eine Überwinterung des Virus nicht verhindern, solange die vier oben genannten Bedingungen gegeben sind. Sellers und Mellor (1993) erstellten Isotherme für die Temperaturen  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$ , d. h. sie verbanden die Punkte miteinander, auf die die unter Punkt eins genannte Bedingung zutrif. Ebenso verfahren sie mit Punkten, an denen Bedingung eins für  $\geq 18^{\circ}\text{C}$  zutrif, da bei diesen Temperaturen weitaus größere *Culicoides*-Fänge gemacht worden waren. Einen dritten Isotherm legten sie über Gebiete, in denen die erste Bedingung für sieben Monate im Jahr zutrif.

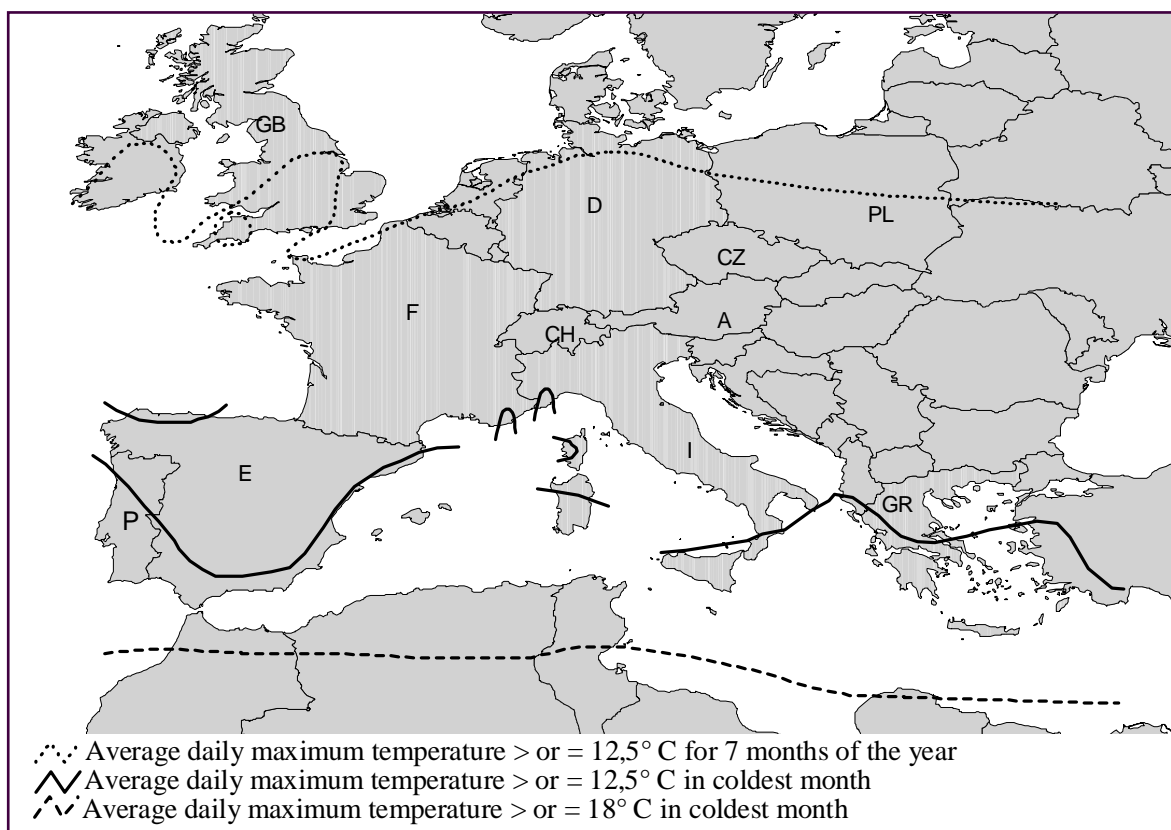


Abb. 3: Europa, Isotherme (modifiziert nach Sellers und Mellor, 1993, S. 746)

Wie aus der Karte (Abb. 3) ersichtlich, liegt ein Teil Südeuropas innerhalb des  $12,5^{\circ}\text{C}$ -Isotherms. Mitteleuropa, d. h. auch der größte Teil von Deutschland, liegt innerhalb des Isotherms, der Gebiete mit Temperaturen  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  für sieben Monate im Jahr kennzeichnet. In

Nordamerika liegt die nördliche Grenze des Vorkommens von BTD nahe dem Isotherm, der Gebiete  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  für sieben Monate im Jahr einschließt.

„On this basis, if BT [...] virus were to be introduced into Europe and provided that competent species of *Culicoides* were also present (e.g. *C. obsoletus*, *C. pulicaris*, *C. nubeculosus*), the area which could experience an outbreak is extensive and stretches as far north as the southern half of the British Isles“ (Sellers und Mellor, 1993, S. 750). Weiterhin behaupten Sellers und Mellor (1993), dass in Gebieten, in denen die durchschnittliche Maximaltemperatur in fünf aufeinanderfolgenden Monaten  $< 12,5^{\circ}\text{C}$  beträgt, ein Überwintern des Virus unwahrscheinlich ist, falls nicht eine globale Erwärmung die Temperaturen anhebt. Dagegen halten Gibbs und Greiner (1994), dass nicht nur eine globale Erwärmung, sondern auch eine Anpassung von *Culicoides* spp. an kältere Temperaturen möglich ist. So bezeichnen sie die nach Europa verschleppten *C. imicola* als „out riders“ bzw. „pioneers“, deren Genpool einem Shifting unterliegen kann.

Wie in Kapitel 2.3.2 geschildert, ist die Virämiephase verlängert, da sie zellassoziiert ist. Auch dieser Umstand kann zu einer möglichen Überwinterung des Virus im Wirtstier führen. Vor allem das Rind und einige Wildwiederkäuer mit einer sehr langen Virämiephase bieten sich dazu an.

Eine weitere Möglichkeit des Überwinterns oder zumindest des Überdauerns kälterer Phasen für das BTV besteht darin, dass die Entwicklung des Virus bei kühleren Temperaturen unterbrochen, das Leben der Vektoren verlängert und bei Wiederanstieg der Temperaturen, z. B. im Frühling, die Entwicklung des Virus fortgesetzt wird. Der Nachweis des Virus ist in der kälteren Phase wegen der geringen Menge nicht möglich. Bei zunehmender Temperatur steigt sie aber wieder soweit an, dass sie im nachweisbaren Bereich liegt (Mullens et al., 1995; Wellby et al., 1996). Beispielsweise stieg der Virustiter von AHSV 4 in *C. variipennis sonoriensis* deutlich an, als sie nach 28 Tagen bei  $15^{\circ}\text{C}$  in eine Lufttemperatur von  $25^{\circ}\text{C}$  transferiert wurden. Zusätzlich erhöhte sich dadurch die Anzahl der Individuen, die zur Übertragung in der Lage waren (Wittmann, 2000).

## 2.6.5 Einfluss der Besatzdichte

Aus einer Untersuchung von Sellers und Mellor (1993) ergibt sich, dass in Gebieten, in denen im kältesten Monat durchschnittliche Maximaltemperaturen zwischen  $12,5^{\circ}\text{C}$  und  $18^{\circ}\text{C}$  herrschen, die Dichte der Rinder bestimmt, ob ein Bestehen der Krankheit über mehrere Jahre

möglich ist oder nicht. Sie wird in diesem Fall über einen Zyklus zwischen Rindern und *Culicoides* erhalten. Dies liegt an der längeren Virämiedauer bei Rindern. So war ein Fortbestehen von BTV in Zypern 1977 bei einer Rinderdichte von 3,5 Tieren pro km<sup>2</sup> nicht möglich, während in anderen Gebieten mit höherer Rinderdichte (Provinz Ayidin 21,1 Rinder pro km<sup>2</sup>, Provinz Izmir 17,5 Rinder pro km<sup>2</sup>) das Virus über mehrere Jahre fortbestehen konnte. Bei Temperaturen über 18° C ist ein Fortbestand von BTD auch bei geringer Rinderdichte möglich. Beispielsweise in Oman, wo nur 0,5 Rinder pro km<sup>2</sup> leben, erhält sich das Virus über einen kontinuierlichen Zyklus zwischen Ziegen (deren Virämiephase kürzer ist) und *Culicoides*.

### 2.6.6 Wirtspräferenz von *Culicoides*

Wie bereits dargelegt, können Rinder einen wichtigen Baustein in der Infektionskette darstellen. Andererseits können sie aber auch ein Schutz für benachbart weidende Schafe sein: *Culicoides imicola* z. B. zeigt eine Präferenz für Rinder. In einem siebenjährigen Versuch (Nevill, 1978) stellte sich heraus, dass weniger BTD-Fälle bei Schafen auftraten, wenn sie mit Rindern zusammen gehalten wurden.

## 2.7 Rechtliche Situation

Das Tierseuchengesetz (TierSG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 20. Dezember 1995 (BGBl. I, S. 2038) ist in der Bundesrepublik Deutschland die Grundlage für die staatliche Bekämpfung von Tierseuchen, die bei Haustieren, Süßwasserfischen oder bei anderen Tieren auftreten und auf Haustiere oder Süßwasserfische übertragen werden können. Übergeordnet ist das EG-Recht. EWG-Richtlinien des Rates werden übernommen und in deutsches Recht eingearbeitet.

Die Maßnahmen des TierSG dienen sowohl der Vorbeugung gegen eine Tierseucheneinschleppung als auch der Tilgung entstandener Tierseuchenherde. Es enthält Vorschriften für die Ein-, Durch- und Ausfuhr von Tieren und tierischen Erzeugnissen, Rohstoffen u. a. zur Abwehr der Einschleppung von Tierseuchen aus dem Ausland. Außerdem enthält es Vorschriften zur Bekämpfung von Tierseuchen im Inland.

Paragraph 10 ermächtigt das Bundesministerium für Verbraucherschutz, Ernährung und Landwirtschaft, anzeigepflichtige Tierseuchen zu benennen. Aufgrund der Verordnung über

anzeigepflichtige Tierseuchen vom 23. Mai 1991 (BGBl. I, S. 1178), zuletzt geändert durch Artikel 10 der Verordnung vom 18. April 2000 (BGBl. I, S. 531), ist die Blauzungenkrankheit (BTD) anzeigepflichtig.

BTD ist zwar in Deutschland noch nicht vorgekommen, aber die Liste der anzeigepflichtigen Tierseuchen umfasst auch solche Tierseuchen. Dies ist aus Gründen der Übernahme von EG-Recht (Richtlinie 82/894/EWG des Rates vom 21. Dezember 1982 über die Mitteilung von Viehseuchen in der Gemeinschaft [ABl. EG Nr. L 378, S. 58 in der jeweils geltenden Fassung]) wegen bilateraler Abkommen sowie internationaler Meldeverpflichtungen erforderlich (Bekanntmachung des Internationalen Übereinkommens zur Einrichtung eines Internationalen Tierseuchenamtes in Paris [Office Internationale des Épizooties] vom 29. April 1974 [BGBl. II, S. 676]).

Im TierSG ist geregelt, welche Maßnahmen bei Verdacht oder Ausbruch einer Tierseuche zu ergreifen sind. Zu diesen Maßnahmen gehören z. B. die Einschränkung des Personen- oder Tierverkehrs, Beschränkung des Handels, Verbote der gemeinsamen Haltung, das Sperren eines Gebietes, Heilbehandlungen oder Verbot derselben, Führung von Kontrollbüchern, Kennzeichnung, Beibringung von Gesundheitszeugnissen, Regelung der Reinigung und Desinfektion, die Einrichtung von Schutzgebieten, Tötung erkrankter oder verdächtiger Tiere, Tierkörperbeseitigung und öffentliche Bekanntmachung der Seuche.

Zur Bekämpfung der meisten anzeigepflichtigen Tierseuchen sind auf der Grundlage von Ermächtigungen im TierSG weitere Verordnungen und Durchführungsbestimmungen erlassen, die das Vorgehen im Einzelfall regeln. Im Falle der BTD existiert keine solche Verordnung, so dass hier § 79 Abschnitt 4 des TierSG greift: „Die zuständige Landesbehörde kann zur Bekämpfung von Tierseuchen Verfügungen nach Maßgabe der §§ 16, 17, 17b Abs. 1 Nr. 4 und der §§ 18 bis 30 treffen, wenn durch Rechtsverordnungen eine Regelung nicht getroffen worden ist.“ Das Vorgehen gegen eine solche Seuche wird dann auf Länder- bzw. Kreisebene geregelt und hängt vom zuständigen Veterinäramt ab. Dies ändert sich im Jahr 2002, da ab diesem Zeitpunkt die Richtlinie 2000/75/EG des Rates vom 20. November 2000 mit besonderen Bestimmungen für Maßnahmen zur Bekämpfung und Tilgung der Blauzungenkrankheit in nationales Recht überführt werden soll (Artikel 22, Absatz 1). In dieser Richtlinie sind die Kontrollregeln und Maßnahmen zur Bekämpfung und Tilgung der BTD festgelegt (Artikel 1). Dort werden Begriffe bestimmt, z. B. gelten alle Wiederkäuerarten als „empfindliche Art“ (Artikel 2, Absatz b), als Vektor gelten Insekten der Spezies *Culicoides imicola* oder jedes andere Insekt der Spezies *Culicoides*, das die BTD



übertragen kann (Artikel 2, Absatz e). Des Weiteren wird festgelegt, wie bei Verdacht oder nach amtlicher Bestätigung des Verdachts verfahren wird (Artikel 4 und 6). Dies umfasst Maßnahmen wie Verbringungsverbote, Überwachung, Erfassung der Orte, die das Überleben des Vektors begünstigen, Nachforschungen zur Epizootiologie, Aufstallung von Tieren zu Zeiten, in denen die Vektoren aktiv sind, Einsatz von Insektiziden, Tötung von Tieren, Beseitigung von Tierkörpern, falls notwendig Impfprogramme nur nach Maßgabe dieser Richtlinie (Artikel 5), Erklärung von Schutz- und Kontrollzonen „unter Berücksichtigung der epizootiologischen, geographischen, ökologischen oder meteorologischen Verhältnisse.“ (Artikel 6, Absatz 2). Die Schutzzone umfasst einen Umkreis von mindestens 100 km um jeden befallenen Betrieb, die Kontrollzone geht nochmals 50 km darüber hinaus (Artikel 8, Absatz 2 a und b). Nach Artikel 8, Absatz 3 kann die Abgrenzung der Zonen „unter Berücksichtigung folgender Parameter geändert werden:

- a) geographische Lage und ökologische Faktoren;
- b) Witterungsverhältnisse;
- c) Vorkommen und Verteilung des Vektors;
- d) Ergebnisse der gemäß Artikel 7 angestellten Nachforschungen zur Epizootiologie;
- e) Laborbefunde;
- f) Durchführung von Bekämpfungsmaßnahmen, insbesondere Entwesung.“

Weitere Maßnahmen sind die Überwachung der Vektor- bzw. Wiederkäuerpopulation in den Schutz- und Kontrollzonen (Artikel 9). Es besteht ein grundsätzliches Verbot der Verbringung von Tieren aus den Schutz- und Kontrollzonen (Artikel 9), Ausnahmen müssen explizit geregelt werden. In den Kontrollzonen werden Impfungen gegen BTB verboten (Artikel 10). Nationale Laboratorien (für Deutschland die Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten der Tiere Anstaltsteil Tübingen) sowie Referenzlaboratorien (Institute for Animal Health Pirbright Laboratory, UK) werden benannt (Artikel 15 und 16; Anhang I und Anhang II). Die Mitgliedsstaaten sollen Krisenpläne erstellen (Artikel 18), deren Mindestkriterien in Anhang III aufgeführt werden.

Die erwähnten Schutz- und Kontrollzonen sind auf dieser Grundlage in der Entscheidung 2001/783/EG vom 9. November 2001 über die Schutz- und Kontrollzonen im Zusammenhang mit der Blauzungenkrankheit und Vorschriften für die Verbringung von Tieren aus diesen Zonen (Text von Bedeutung für den EWR) (ABl. L 293 vom 10.11.2001, S. 42-46) mit Änderungen durch die Entscheidungen 2002/35/EG vom 16. Januar 2002 (ABl. L 015 vom 17. Januar 2002, S.31) und 2002/189/EG vom 5. März 2002 (ABl. L 063 vom 6. März 2002, S. 26) festgelegt worden. Sie werden als Sperrzonen zusammengefasst und in Anhang I (A bis D) genannt. Namentlich sind dies:

#### Anhang I A:

##### In Italien:

Sicilia: Agrigento, Caltanissetta, Catania, Enna, Messina, Palermo, Ragusa, Siracusa und Trapani.

Calabria: Catanzaro, Cosenza, Crotona, Reggio Calabria, Vibo Valentia.

Basilicata: Matera, Potenza.

Puglia: Brindisi, Lecce, Taranto.

Campania: Napoli, Salerno.

#### Anhang I B:

##### In Frankreich:

Corse du sud, Haute Corse.

##### In Spanien:

Baleares.

##### In Italien:

Sardegna: Cagliari, Nuoro, Sassari, Oristano.

#### Anhang I C:

##### In Italien

Lazio: Provinzen Viterbo, Roma.

Toscana: Provinz Grosseto.

#### Anhang I D:

Griechenland.

Artikel 2 dieser Entscheidung untersagt den Versand und die Durchfuhr lebender Tiere von für die Blauzungenkrankheit empfängliche Arten, ihres Spermas, ihrer Eizellen und ihrer Embryos für die Sperrgebiete. Abweichend davon werden in Artikel 3, 4 und 5 Ausnahmen davon zugelassen. Artikel 3 regelt dabei mit Hilfe von Anhang II die Ausfuhr aus den Sperrzonen in andere Mitgliedsstaaten, Artikel 4 die Verbringung aus Sperrzonen in andere Regionen desselben Landes. Artikel 5 betrifft das Verbringen von Schlachttieren aus den Sperrzonen. Der Gebrauch von Insektenvertilgungsmittel für diese Ausnahmetransporte wird in Artikel 6 geregelt. Die Entscheidung 2001/783/EG beachtet die Epidemiologie der BTB und ermöglicht so Ausnahmen vom starren Verbringungsverbot aus den Sperrzonen, die in der vorher geltenden und in Artikel 8 außer Kraft gesetzten Entscheidung 2001/138/EG vom 9. Februar 2001 noch aktuell waren. Eine Bedingung für das Verbringen von Schlachttieren aus den Sperrzonen ist z. B., dass in einem Umkreis von mindestens 20 km um den Ursprungsbetrieb mindestens 100 Tage vor dem Transport keine Viren mehr zirkulieren (Artikel 5, Absatz a).

Ebenfalls auf Richtlinie 2000/75/EG basiert die Entscheidung 2001/433/EG der Kommission vom 21. Mai 2001 für den Ankauf von Impfstoff gegen die BTB durch die Gemeinschaft und zur Aufstockung der gemeinschaftlichen Impfstoffbank. Diese Entscheidung fördert eine Impfkampagne in Sizilien, Kalabrien und Basilikata (Italien) mit zweiwertigem Impfstoff der Serotypen 2 und 9 sowie einwertigem Impfstoff des Serotyps 2. Es handelt sich um attenuierten Lebendimpfstoff, der aus Onderstepoort, Südafrika, importiert und außer der Anwendung in Italien in der Impfstoffbank der Europäischen Gemeinschaft vorrätig gehalten wird. Die vorliegende Arbeit kann dazu beitragen, die Übertragung der Richtlinie 2000/75/EG in nationales Recht zu erleichtern und eine Durchführung zu vereinfachen. Dies betrifft vor allem in Artikel 4 die Punkte 2)b)ii) (Erfassung der Orte, die das Überleben des Vektors begünstigen), 2)b)iii) (Nachforschungen zur Epizootiologie) sowie Artikel 8 Absatz 3 über die Abgrenzung der Schutzzonen.

### 3 Literaturübersicht: Lebensraum der Arthropodenvektoren

#### 3.1 Taxonomie

Die Gattung der *Culicoides* gehört zur Familie der *Ceratopogonidae* in der Ordnung der *Diptera* (Malloch, 1917).

Diese teilt sich weiterhin in Untergattungen auf (Wirth und Dyce, 1985):

- *Avartia*, zu der z. B. die Arten *C. imicola* (früher *pallidipennis*) und *C. obsoletus* gehören
- *Monoculicoides*, zu der z. B. *C. variipennis*, der wichtigste Überträger des BTV in Nordamerika gehört, sowie *C. nubeculosus*, ein potentieller Vektor in Europa
- *Culicoides*, zu der die Arten *C. pulicaris* und *C. impunctatus* gehören
- die *C. schultzei*-Gruppe, zu der die Art *C. schultzei* gehört, die in Australien für die Übertragung des BTV verantwortlich ist und deren europäische Verwandte im Verdacht stehen, als Vektoren fungieren zu können (Mellor, 1992).

Die zwischen einem und drei Millimetern großen *Culicoides* gehören zu den kleinsten hämatophagen Insekten. Bisher sind 1400 verschiedene Arten bekannt. Sie kommen überall auf der Welt mit Ausnahme der Antarktis und Neuseeland vor. Ihre Verbreitung reicht von den Tropen bis in die Tundra sowie vom Meeresspiegel bis in eine Höhe von 4000 m (Mellor et al., 2000).

#### 3.2 Lebenszyklus

Der Lebenszyklus von Gnitzen der Gattung *Culicoides* vollzieht sich in mehreren Stufen: Vom Ei entwickeln sie sich über vier Larvenstadien und ein Puppenstadium zum Imago. Die bananenförmigen Eier sind ca. 400 µm groß, 50 µm breit und zunächst weiß, dunkeln dann jedoch relativ schnell nach. Sie sind unbeständig gegen Trockenheit. Innerhalb von zwei bis sieben Tagen schlüpfen wurmförmige Larven, die mit typischen serpentinenförmigen, aalartigen Bewegungen schwimmen. Die Dauer der Larvenstadien hängt von ihrer Art und den Umweltbedingungen ab, v. a. von der Temperatur. Dementsprechend können die Larvenstadien zwischen fünf Tagen und einigen Monaten dauern (Blanton und Wirth, 1979; Meiswinkel et al., 1994). In gemäßigttem Klima kann diese Phase stark verlängert sein, da die meisten Arten in einer Diapause im vierten Larvenstadium überwintern (Kettle, 1984; Olbrich, 1987; Braverman, 1994).

Das Verpuppungsstadium dauert meist sehr kurz, je nach Art und Temperatur zwischen zwei Tagen und vier Wochen.

Als Imago leben *Culicoides*-Arten zwischen zehn und 90 Tagen. Männchen ernähren sich in dieser Zeit von Nektar, nur das Weibchen benötigt für die Eiablage alle drei bis acht Tage eine Blutmahlzeit (Mellor et al., 2000).

Bereits zwölf bis 24 Stunden nach der Entwicklung zum Imago findet die Paarung statt (Pedgley und Tucker, 1977). Da pro Eiablage eine Blutmahlzeit benötigt wird, richtet sich die Häufigkeit der Blutaufnahme nach der Geschwindigkeit der Entwicklung der Eier. So sticht ein *Culicoides*-Weibchen der Gattung *C. variipennis sonorensis* alle drei Tage bei einer Umwelttemperatur von 30° C, während bei 13° C nur alle 14 Tage eine Blutmahlzeit stattfindet (Mullens und Holbrook, 1991).

Der Großteil der *Culicoides*-Arten ist dämmerungs- oder nachtaktiv, was höchstwahrscheinlich mit der geringen Größe und der dadurch gegebenen Gefahr der Austrocknung zusammenhängt (Kettle, 1995). Die Hauptaktivitätsperiode für *Culicoides*-Weibchen ermittelte Olbrich (1987) in einem Weidegebiet bei Hannover für den Zeitraum von 16 bis 21 Uhr.

### **3.3 *Culicoides* in Europa**

„The geographical distribution of these viruses [BTV, EHDV (epizootic haemorrhagic disease virus), AHSV (african horse sickness virus) Anm. d. Verf.] is therefore limited to those regions of the world where susceptible populations of *Culicoides* are present“ (Mellor, 1993, S. 6).

Dies ist die Voraussetzung für die Verbreitung des BTV. Früher wurde angenommen, *C. imicola* sei als einziger kompetenter Vektor in Europa Voraussetzung für ein Auftreten von BTD (Boorman et al., 1985), und tatsächlich deckte sich die Verbreitung von BTD in Europa eine ganze Zeit lang mit der Verbreitung von *C. imicola*. Doch kürzlich stellte man fest, dass z. B. beim Ausbruch in Bulgarien 1999 keine *C. imicola* nachgewiesen wurden, wohl aber andere *Culicoides*-Arten (Mellor et al., 2000). Zusätzlich wurde *C. imicola* in Gebieten heimisch, in denen sie vorher unbekannt war: „These apparent extensions in its range may therefore be due to the recent series of exceptionally mild years which have been experienced in Iberia“ (Mellor, 1993, S.6).

### 3.4 *Culicoides* in Deutschland

Nach Untersuchungen von Havelka (1978) sind in Deutschland ca. 63 *Culicoides*-Arten (teils Doppelerwähnungen aufgrund von Synonymen) heimisch. Da die Erforschung von *Culicoides* nicht sehr nachhaltig betrieben wird, „wird die wirkliche Artenzahl für die europäische Fauna vermutlich noch höher liegen“ (Havelka, 1978, S. 441). Mellor und Mitarbeiter (2000) sprechen schon von 1400 bekannten *Culicoides*-Spezies weltweit. Einige dieser Arten kommen in ganz Deutschland vor, andere regional begrenzt. Nach einer Einteilung von Illies (1978) wird innerhalb Deutschlands zwischen drei verschiedenen Zonen unterschieden:

1. Westliches Mittelgebirge: Dazu gehören unter anderem die Eifel und die Pfalz.
2. Zentrales Mittelgebirge: Dazu gehören unter anderem der Teutoburger Wald, das Wesergebirge, der Harz, das Erzgebirge, der Bayerische Wald, der Schwarzwald, die Alb und das schwäbisch-bayerische Alpenvorland sowie das Rheingebiet vom Bodensee (exklusive) bis nach Duisburg und der deutsche Anteil des Donauverlaufs.
3. Zentrales Flachland: Dazu gehören unter anderem die norddeutsche Tiefebene und die Inseln der Nordsee.

Die für die Übertragung von BTV tatsächlich oder potentiell in Frage kommenden Arten kommen in allen drei Teilgebieten vor, sind also in ganz Deutschland heimisch. Es handelt sich um palaearktische *Culicoides*-Spezies:

- *C. chiopterus* (Meigen); Synonym: *C. amoenus* (Winnertz);
- *C. impunctatus* (Goetghebuer); Synonym: *C. arcuatus* (Edwards nec. Winnertz);
- *C. nubeculosus* (Meigen); Synonyme: *C. puncticollis* (Becker), *C. puncticollis* (Goetghebuer), *C. riethi* (Kieffer), *C. algecirensis* (Strobl) 1905, *C. punctaticollis* (Goetghebuer) 1920;
- *C. obsoletus* (Meigen); Synonyme: *C. varius* (Winnertz) 1852, *C. sanguisugus* (Coquillett) 1901, *C. yeosensis* (Matsumura) 1915, *C. lacteinervus* (Kieffer) 1919, *C. clavatus* (Kieffer) 1924, *C. rivicola* (Kieffer) 1924, *C. heterocerus* (Kieffer) 1921, *C. pegobius* (Kieffer) 1922, *C. concitus* (Kieffer) 1923, *C. hirtulus* (Coquillett) 1900, *C. kabiliensis* (Kieffer) 1922, *C. obscuripennis* (Santos-Abreu) 1918, *C. sanguineus* (Goetghebuer & Lenz) 1934, *C. arcuatus* (Kertész) 1902;

- *C. pulicaris* (Linné); Synonyme: *C. cinerellus* (Kieffer) 1919, *C. flavipluma* (Kieffer) 1919, *C. cinerea* (Kieffer) 1925, *C. edwardsi* (Goetghebuer) 1926, *C. swamtoi* (Kono & Takahasi) 1940, *C. stephensi* (Carter) 1916, *C. ocellaris* (Kieffer), *C. punctatus* (Meigen); (Havelka, 1978).

Bestätigt werden diese Untersuchungsergebnisse von Olbrich (1987), die in der Nähe von Hannover ebenfalls Fänge dieser Arten am Rind machte, sowie weitgehend von Havelka und Caspers (1981) nach Untersuchungen in der Nähe von Bonn.

### 3.5 Vektorkompetenz und -kapazität

Unter Vektorkompetenz versteht man laut Tabachnick (1996, S. 30) „the ability of the vector to be infected with the pathogen, the ability of the vector to infect progeny by transovarial transmission, and the ability of the vector to transmit the pathogen to a suitable host“. Da eine transovarielle Übertragung für BTV in *Culicoides* höchst unwahrscheinlich ist (Jones und Foster, 1971; Nunamaker et al., 1990), entspricht die Definition von Wittmann und Baylis (2000, S. 109) besser den Gegebenheiten: „Individuals that have the ability to transmit virus are classed as „vector competent“.“ Damit stellen sie heraus, dass innerhalb einer Art Unterschiede in der Empfänglichkeit herrschen, sowohl zwischen den verschiedenen Populationen einer Art als auch innerhalb der Individuen einer Population.

Vektorkapazität wird charakterisiert durch verschiedene Eigenschaften: Zum einen hängt sie von der Vektorkompetenz ab, zum anderen sind es „host preference, biting or feeding rates, gonotrophic cycle, population densities and vector longevity“, die sie bestimmen (Tabachnick, 1996, S. 30). Wittmann und Baylis (2000) errechnen die Vektorkapazität über eine Formel, in der sie abhängig ist von der Anzahl der Vektoren pro Wirt, der Anzahl der Blutmahlzeiten pro Vektor, Wirt und Tag, der Vektorkompetenz, der Überlebensdauer des Vektors in Tagen sowie der „extrinsic incubation period“ (EIP) in Tagen (Zeitdauer zwischen Virusaufnahme und der Fähigkeit, Virus zu übertragen).

Vor allem die Temperatur, aber auch andere klimatische Faktoren nehmen Einfluss auf Vektorkapazität und -kompetenz sowie Vorkommen und Abundanz von *Culicoides* spp. Im Folgenden werden diese genauer spezifiziert.

### 3.5.1 Einfluss der Temperatur

Die Temperatur hat in mehrfacher Hinsicht Einfluss auf die Vektorkapazität. Einerseits kann eine erhöhte Temperatur die Anzahl der kompetenten Vektoren direkt erhöhen, andererseits indirekt durch die Vergrößerung der gesamten Population. Zusätzlich beeinflusst die Temperatur auch die geographische Verbreitung einer Art. Außerdem kann durch ein Erhöhen der Temperatur die Vektorkompetenz gesteigert und die EIP sowie die Lebensdauer verkürzt werden. Aber auch die Frequenz der Blutmahlzeiten erhöht sich, da die Reifung der Eier schneller stattfindet (Wittmann, 2000).

Abbildung 4 zeigt die verschiedenen Einflüsse der Temperatur auf die Übertragung von BTV, die nachfolgend noch einmal detailliert erläutert werden.

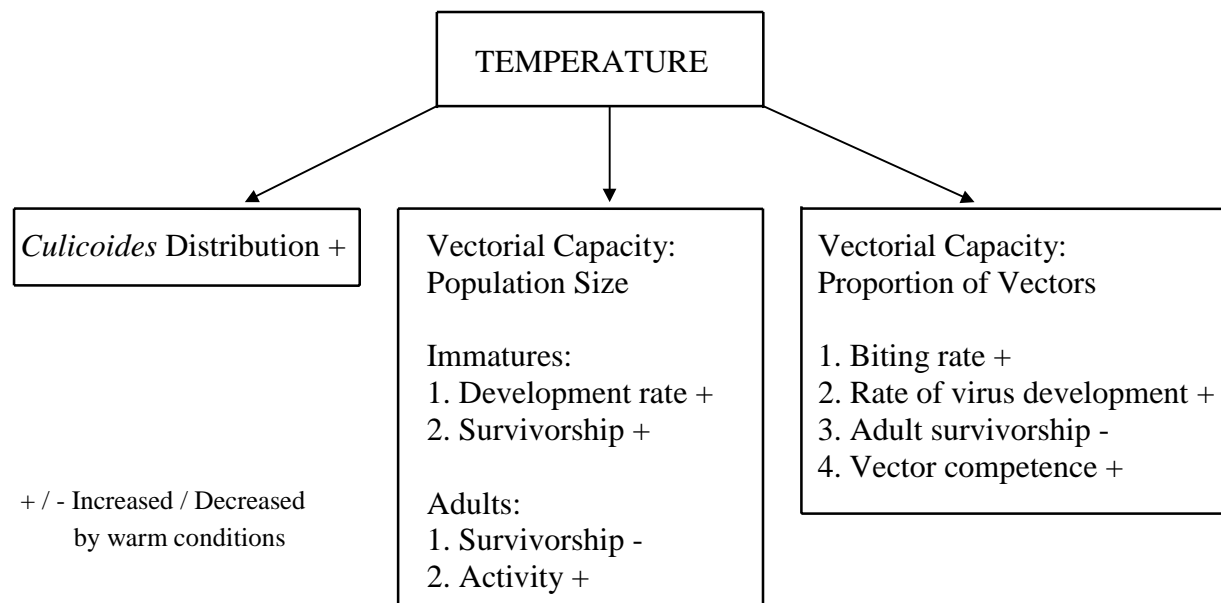


Abb. 4: Einfluss der Temperatur auf die Übertragung von BTV (und AHSV) durch *Culicoides* (modifiziert nach Wittmann, 2000, S. 28)

#### 3.5.1.1 Verbreitung

Für die geographische Verbreitung von *Culicoides* spp. ist hauptsächlich die Temperatur verantwortlich: So zeigen Sellers und Mellor (1993), dass gewisse tägliche Maximalwerte für eine Überwinterung von BTV mit Hilfe von *C. imicola*, *C. variipennis* und *C. brevitarsis* Voraussetzung sind (siehe Kapitel 2.6.4). Olbrich (1987) konnte ebenfalls für verschiedene Arten signifikante Zusammenhänge zwischen Vorkommen und Temperatur feststellen.



Für die Verbreitung von *C. imicola* ist es wahrscheinlich, dass die Nordgrenze durch den Temperaturabfall in süd-nördlicher Richtung definiert wird (Baylis und Rawlings, 1998; Rawlings et al., 1998). Demnach zögen Temperaturerhöhungen im Rahmen einer globalen Erwärmung auch eine Änderung der Verbreitungsgrenzen von *Culicoides* spp. nach sich. Nach Hughes (2000) korrespondiert eine Temperaturerhöhung der durchschnittlichen Jahrestemperatur von 2° C mit einer Nordverschiebung der Verbreitungsgrenzen von Insektenarten von ca. 200 km.

Zudem besteht ein starker Einfluss der Temperatur auf die Aktivität der verschiedenen *Culicoides*-Arten. Nevill (1971) fand heraus, dass 14,5 % der Imagos von *C. imicola* im Kühlschrank bei -1,5° C überleben. Auch im Feld überlebten *Culicoides* bis zu 51 Tagen bei Temperaturen zwischen -1,1° C und 26,7° C (bei Zugang zu Wasser). Wenn also Temperaturen um 0° C das Überleben wenig beeinflussen, so zeigt sich doch ganz deutlich eine Verminderung der Aktivität (Sellers und Mellor, 1993).

#### 3.5.1.2 Populationsgröße

Die Vektorkapazität wird auch durch die Populationsgröße bestimmt. So kann nur eine von 35 000 *C. brevitarsis* BTV übertragen (Muller et al., 1982), dies kann aber durch eine entsprechend große Population ausgeglichen werden. Meiswinkel (1998) fing z. B. an einem Abend in einer einzigen Lichtfalle ca. eine Million *C. imicola*.

Die Temperatur hat Auswirkung auf die Populationsgröße und dadurch auch auf die Transmissionswahrscheinlichkeit durch die Einwirkung auf die Larvenentwicklung, die Überlebensrate der Imagos und die Aktivität der adulten *Culicoides* (Wittmann, 2000). Die Entwicklung vom Ei zum Imago wird durch höhere Temperaturen beschleunigt, ab einer bestimmten Temperatur wird die Überlebensrate wieder kleiner (Vaughan und Turner, 1987; Bishop et al., 1996; Wellby et al., 1996). Grundsätzlich erhöhen hohe Temperaturen die Aktivität (Blackwell, 1997, Kettle et al., 1998), während niedrige Temperaturen Aktivität unterdrücken, z. B. für *C. imicola* unter 17° C (Nevill, 1971; Walker, 1977), für *C. variipennis* unter 10° C (Nelson und Bellamy, 1971).

#### 3.5.1.3 Extrinsic incubation period (EIP) und Vektorkompetenz

Bei der Transmission von BTV ist die Frequenz der Blutmahlzeiten ein kritischer Faktor. Ein *Culicoides*-Weibchen muss mindestens zweimal Blut aufnehmen, um das Virus übertragen zu können: Das erste Mal, um das Virus aufzunehmen und das zweite Mal, nach Beenden der

EIP, um das Virus an einen neuen Wirt weiterzugeben. Da pro Eiablage eine Blutmahlzeit benötigt wird, hängt die Stechfrequenz von der Geschwindigkeit der Eientwicklung ab. Das bedeutet, dass zur Übertragung von BTV die Lebensdauer der *Culicoides*-Weibchen die EIP überschreiten muss (Wittmann, 2000). Die Eientwicklung beschleunigt sich bei höheren Temperaturen (Mullens und Holbrook, 1991). Die Temperatur beeinflusst Lebensdauer und EIP in gegensätzlicher Weise: So ist bei hohen Temperaturen die Überlebensrate vermindert, wohingegen die Entwicklung des Virus beschleunigt ist, während bei niedrigen Temperaturen die Überlebensrate der Vektoren größer wird, die Entwicklungsgeschwindigkeit des Virus aber verlangsamt wird (Hunt et al., 1989; Mullens et al., 1995; Wellby et al., 1996).

Nach Versuchen von Wittmann (2000) erhöht sich das Potential der Übertragung bei *C. variipennis sonorensis* bei hohen Temperaturen (27 bis 30° C), obwohl die Überlebenszeit verkürzt wird. Das liegt daran, dass sich die EIP ebenfalls stark verkürzt. Bei kühleren Temperaturen verlängert sich zwar die Überlebenszeit, die EIP wird jedoch überproportional verlängert.

Für die Übertragung von AHSV 8 durch *C. imicola* fand Wittmann (2000) heraus, dass eine Virusreplikation ab 9,9° C stattfindet und die EIP von 12,4 Tagen bei 15° C bis auf 3,4 Tage bei 30° C abnimmt. Ähnliche Ergebnisse wies sie auch bezüglich BTV 10 bzw. BTV 16 und *C. variipennis sonorensis* nach: Mindesttemperatur 9,9° C; EIP bei 15° C 26 bzw. 16 Tage, abnehmend bis zu drei bzw. zwei Tagen bei 30° C. Tabelle 2 zeigt die Dauer der minimalen und mittleren EIP für *C. variipennis sonorensis* und BTV 10 sowie BTV 16, wobei die minimale EIP der Zeitpunkt ist, an dem das erste Weibchen und die mittlere EIP der Zeitpunkt, an dem 50 % der Weibchen BTV übertragen können.

Tab. 2: Näherungswerte der Dauer der EIP für verschiedene Serotypen von BTV in *C. variipennis sonorensis*, die bei unterschiedlichen Temperaturen gehalten wurden (modifiziert nach Wittmann, 2000, S. 67)

Temperatur ° C	BTV 10	BTV 10	BTV 16	BTV 16
	Minimale EIP	Mittlere EIP	Minimale EIP	Mittlere EIP
15	26	26	16	19,9
20	8	13,0	10	20,2
25	15	15	4	7,2
30	3	7,0	2	4,8

### 3.5.2 Niederschlag

Der Niederschlag beeinflusst die Vorkommenswahrscheinlichkeit und -häufigkeit von *Culicoides* spp. durch seine Einwirkung auf die Brutplätze. *C. imicola* beispielsweise benötigt zur Eiablage feuchte Plätze mit Schlamm und organischen Bestandteilen (Walker und Davies, 1971; Braverman et al., 1974; Walker, 1977; Braverman, 1978). In Afrika ist die Auftretenswahrscheinlichkeit von *C. imicola* in Gebieten mit einem jährlichen Niederschlag von 300 bis 700 mm am höchsten (Meiswinkel und Baylis, 1998). Gebiete, die mehr als 700 mm Niederschlag im Jahr aufweisen, sind als Brutstätten für *C. imicola* ungeeignet. Ein Ertrinken der verpuppten Stadien bei Überflutung der Brutstätten wird vermutet (Nevill, 1967). Außerdem stellte Nevill (1971) fest, dass in Südafrika die saisonale Abundanz von erwachsenen *C. imicola* mit den Niederschlagsmengen des vorhergehenden Monats korreliert. Das Jahr mit dem meisten Niederschlag war auch das Jahr mit der größten Abundanz von *C. imicola*.

Die Aktivität der Gnizen wird allerdings bei Regen eingeschränkt: Olbrich (1987) zeigte, dass das Vorkommen von *Culicoides*-Arten am Rind bei Trockenheit deutlich höher ist als bei Nieselregen, Regen oder Nebel.

### 3.5.3 Normalized Difference Vegetation Index

In Spanien und Marokko fanden Baylis und Rawlings (1998) sowie Baylis und Mitarbeiter (1998 a) eine positive Korrelation der Abundanz von *C. imicola* mit dem minimalen Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) des jeweiligen Jahres. Der NDVI bezeichnet ein über Satellitenbilder hergestelltes Maß für die photosynthetische Aktivität, ist also ein Zeichen für vorhandene Brutstätten.

### 3.5.4 Windstärke

Das Vorkommen und die Abundanz von *C. imicola* korreliert nach Baylis und Mitarbeitern (1998 a, b) sowie Baylis und Rawlings (1998) negativ mit der Windstärke. Ob sich die Sterblichkeit der Gnizen auch erhöht oder ob sie nur, wie bei Sellers (1992) beschrieben, vom Wind weitergetragen werden, ist ungeklärt. Auch die Aktivität von *Culicoides* spp. wird von der Windstärke negativ beeinflusst (Olbrich, 1987; Blackwell, 1997; Kettle et al., 1998). Murray (1987) gibt für *C. brevitarsis* in Australien 2,2 m/s als Grenze für ihre Aktivität an; Olb-

rich (1987) nennt für die verschiedenen *Culicoides* spp. unterschiedliche Windstärken, die zur Aktivitätsunterdrückung führen, allerdings zeigt sich deutlich, dass die höchsten Abundanzen bei Windstille auftreten. Walker (1977) nennt für Kenia 3 m/s als Grenze für die Aktivität von *C. imicola*. Andererseits sorgt der Wind für eine weitere Verbreitung der Gnitzen, wie in Kapitel 2.6.3 beschrieben.

### 3.5.5 Luftfeuchte

Wegen ihrer kleinen Größe sind *Culicoides* anfällig für Austrocknung. Murray (1991) fand heraus, dass selbst kurze Perioden mit niedriger Luftfeuchte das Leben von *C. brevitarsis* verkürzen. Außerdem kann durch höhere Luftfeuchte die Aktivität positiv beeinflusst werden (Walker, 1977; Olbrich, 1987; Blackwell, 1997). Blackwell (1997) findet für *C. impunctatus* einen Aktivitätsanstieg bei einer Luftfeuchte von ca. 85 %.

Bei niedrigen Temperaturen und niedriger Luftfeuchte wird die Überlebensrate geringer (Murray, 1991; Wittmann, 2000). Bei hohen Temperaturen und niedriger Luftfeuchte dagegen teilen sich die Meinungen: Murray (1991) fand für *C. brevitarsis* heraus, dass der schädliche Einfluss einer niedrigen Luftfeuchte anstieg, je höher die Temperatur wurde. Wittmann (2000) stellte für *C. variipennis sonorensis* fest, dass niedrige Luftfeuchte (40 % respektive 75 % bezeichnet sie als niedrig im Gegensatz zu hoher Luftfeuchte mit 85 %) bei hohen Temperaturen (25 bis 30° C) die Überlebensrate der Gnitzen sogar erhöht. Ob diese unterschiedlichen Ergebnisse durch die unterschiedlichen Arten von *Culicoides* bedingt sind oder andere Gründe dafür vorliegen, ist ungeklärt. Wittmann (2000) fand keine Hinweise auf Verfälschungen der Ergebnisse z. B. durch Pilze oder andere Pathogene in der höheren Luftfeuchte (bei 85 %). Sie führt die höhere Sterblichkeit bei dieser Luftfeuchtigkeit auf die eingeschränkte Möglichkeit der Gnitzen zurück, sich bei hoher Luftfeuchte durch Verdunstung des überschüssigen metabolischen Wassers zu entledigen. Olbrich (1987) stellt für verschiedene in Deutschland vorkommende Arten (unter anderem *C. obsoletus* und *C. nubeculosus*) keinerlei Präferenzen der Luftfeuchte fest. Außer Extremwerten wie unter 50 % oder über 90 % ordnet sie der Luftfeuchte keinen oder sehr geringen Einfluss auf das *Culicoides*vorkommen zu.

### 3.5.6 Lichtstärke

Olbrich (1987) konnte bei Untersuchungen in der Nähe von Hannover zeigen, dass *Culicoides*-Weibchen heimischer Arten zum Großteil erhöhte Abundanzzahlen bei einer Lichtstärke von 101-10000 lux zeigen. Dies entspricht etwa dem Bereich zwischen Dämmerungslicht und Tageslicht bei Bewölkung und deckt sich mit den Untersuchungen von Kettle (1995). Das bedeutet eine schwankende Aktivität von *Culicoides* im Tag-Nacht-Rhythmus, die bei Dämmerung am höchsten ist.

### 3.5.7 Bewölkungsdichte

Bezüglich der Bewölkungsdichte bestätigen sich die Ergebnisse über die Lichtstärke: Signifikant hohe Fanganteile hatte Olbrich (1987) bei völliger Bewölkung, obwohl bei allen Bewölkungsstufen Fänge möglich waren. Dies unterstützt die These, dass direkte Sonneneinstrahlung gemieden wird, um Austrocknung zu vermeiden und somit die Überlebenszeit zu verlängern (Mellor et al., 2000).

## 3.6 Beschränkende Faktoren für die Verbreitung von *Culicoides*

Wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, gibt es viele klimatologische Faktoren, die das Vorkommen von *Culicoides*-Arten beeinflussen können. Als wichtigster Einflussfaktor in Deutschland stellte sich die Temperatur heraus, die daher als Hauptausscheidungsmerkmal dient.

## 3.7 Beispiele für heimische potentielle Vektoren für Bluetongue Virus

Da Daten über die Anforderungen an das Habitat nur für wenige heimische *Culicoides* spp. zur Verfügung stehen, wurden für diese Arbeit zwei Arten ausgewählt, die in Deutschland vorkommen und die stellvertretend für andere Arten zur Risikoeinschätzung dienen können. Der geographischen Verteilung nach kann *C. nubeculosus* als Modell für andere palaearktische Spezies gelten, wie z. B. für *C. pulicaris* und *C. obsoletus* (Wittmann, 2000).

### 3.7.1 *C. nubeculosus*

Die Temperaturabhängigkeit von *C. nubeculosus* auch im Hinblick auf die Vektorkompetenz wurde von Wittmann (2000) im Rahmen einer Dissertation untersucht. Die Untersuchungsergebnisse werden im Folgenden dargestellt.

Eine Entwicklung von *C. nubeculosus* ist ab einer Temperatur von 8,1° C möglich. Zwischen 12,5 und 35° C erhöht sich die Entwicklungsgeschwindigkeit linear. Die Überlebensrate der präadulten Stadien ist zwischen 25 und 30° C am höchsten. Für eine größtmögliche Adultenpopulation, die sich aus den nachschlüpfenden Puppenstadien und den überlebenden Imagos zusammensetzt, liegt die optimale Temperatur bei 25 bis 30° C. Die Temperatur während der präadulten Stadien hat keinerlei Einfluss auf die Überlebensrate der Imagos. Bei niedrigen Temperaturen ist sowohl die mittlere Zeit bis zum Schlupf als auch die Zeitspanne, während der die Gnitzen schlüpfen, verlängert.

Tabelle 3 (s. u.) fasst die Entwicklungszeit von *C. nubeculosus* in Abhängigkeit von der jeweiligen Temperatur zusammen.

Die Anzahl der Larven (jeweils von 100), die bei den verschiedenen Temperaturen das Adultenalter erreicht, teilt sich wie folgt auf:

- bei 12,5°C überleben ca. 28 %,
- bei 25 und bei 30°C überleben ca. 60 %,

hier ist jeweils die Sterblichkeit der Eier im Verhältnis zur Sterblichkeit der Larven 50 : 50.

- bei 15 und bei 20°C überleben ca. 40 %,
- bei 35°C überleben ca. 5 %,

dies ist bedingt durch eine im Verhältnis zur Eiersterblichkeit höhere Larvenssterblichkeit.

Die Temperatur beeinflusst also sowohl die Entwicklungsgeschwindigkeit als auch die Überlebensrate von *C. nubeculosus*. Bei optimalen Temperaturen (25 bis 30°C) ist die Überlebensrate hoch, die mittlere Entwicklungszeit sowie die Zeitspanne, in der die Adulten schlüpfen, kurz. Bei diesen Temperaturen ergibt sich also eine große Population. Da Ausbrüche von BTD dann stattfinden, wenn Vektoren abundant sind (Mellor und Boorman, 1995; Mellor, 1996), ist das Risiko eines Ausbruchs bei diesen Temperaturen hoch, vorausgesetzt, BTV wird in das Gebiet eingeführt.

Tab. 3: Entwicklungszeiten für die Aufzucht von *C. nubeculosus* bei verschiedenen Temperaturen (modifiziert nach Wittmann, 2000, S. 40)

Temperatur in ° C	Tag des ersten Schlupfes der Larvenstadien				Tag der Ver- Puppung: Spannweite und arithmet. Mittel ± SE	Puppenstadium (in Tagen): arithmet. Mittel ± SE	Tag d. Schlupfes der Imagos: Spannweite und arithmet. Mittel ± SE
	<sup>+</sup> 1. Stadium	2. St.	3. St.	4. St.			
12,5	10	12	26	36	74 - 131 97,2 ± 0,17	9,2 ± 0,01	80 - 140 106,3 ± 0,18
15	6	8	16	22	41 - 83 52,0 ± 0,07	6,8 ± 0,01	46 - 88 58,8 ± 0,07
20	4	6	10	12	29 - 42 32,4 ± 0,12	3,7 ± 0,03	32 - 45 36,1 ± 0,12
25	2	4	7	9	15 - 30 20,8 ± 0,03	2,4 ± 0,02	17 - 32 23,3 ± 0,07
30	2	3	5	7	14 - 29 19,5 ± 0,03	1,7 ± 0,01	15 - 30 21,1 ± 0,08
35	1	2	4	6	11 - 16 13,3 ± 0,17	1,9 ± 0,06	12 - 17 15,1 ± 0,19

<sup>+</sup> entspricht dem ersten Schlupf aus den Eiern

Die Tatsache, dass sehr wenige *C. nubeculosus* kompetente Vektoren für BTV sind, wird darauf zurückgeführt, dass sie eine „midgut infection barrier“ (siehe Kapitel 2.2.1.5) besitzen. Bei einer Aufzuchttemperatur von 33° C erhöht sich die Anzahl der kompetenten Vektoren signifikant gegenüber Gnitzen, die bei 25 bis 32° C aufgezogen wurden. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass es bei diesen hohen Temperaturen nahe an den Letaltemperaturen zu einer Schädigung des Mitteldarms kommt, so dass die Viren sofort ins Hämocoel übergehen können. Es zeigt sich, dass die kritische Periode, in der Vektorkompetenz induziert werden kann, kurz vor und während der Verpuppung stattfindet, wenn die epithelialen Zellen der adulten Gnitze gebildet werden. Es reicht also, wenn in der kurzen Verpuppungsphase eine Temperatur von 33° C herrscht, um Vektorkompetenz bei *C. nubeculosus* zu induzieren. Der Virustiter unterscheidet sich in den infizierten Individuen beider Gruppen nicht signifikant.

Diese Annahmen werden durch die in Tabelle 4 dargestellten Daten verdeutlicht. Sie zeigt Ergebnisse einer Vergleichsuntersuchung, bei der eine Gruppe der Gnitzen nur während der Verpuppungsphase einer Lufttemperatur von 33° C ausgesetzt war, während dies bei der anderen Gruppe über die Dauer der gesamten Entwicklungszeit der Fall war.

Tab. 4: Entwicklungszeiten (Näherungswerte) von *C. nubeculosus* und die Anzahl der Vorstadien, die bis zum Adulentalter überleben und dann empfänglich für BTV 10 sind. Ausgangspunkt sind jeweils 100 Eier bei verschiedenen Aufzuchttemperaturen (modifiziert nach Wittmann, 2000, S. 107)

<b>Aufzucht- temperatur in ° C</b>	<b>Entwick- lungszeit von <i>C. nubeculosus</i> in Tagen</b>	<b>Anzahl <i>C. nubeculosus</i>, die bis zum Adulentalter überleben (pro 100 Eier)</b>	<b>Anzahl weiblicher <i>C. nubeculosus</i>, die bis zum Adulentalter überleben (pro 100 Eier)</b>	<b>BTV 10: Anzahl kompe- tenter weiblicher <i>C. nubeculosus</i> (pro 100 Eier)</b>
25	24,7	53	27	0
30	19,0	64	32	0
31	18,2	49	25	0
32	17,5	35	18	0
33	16,8	23	12	2
<b>Puppen- stadien bei 33° C</b>	1,8	46	23	2

Wie die Tabelle zeigt, sind also nur 1,8 Tage bei 33°C notwendig, um eine erhöhte Vektor- kompetenz zu erreichen. Im vorliegenden Versuch erhöhte sich der Anteil kompetenter *C. nubeculosus* für BTV 10 bei Temperaturen von 25 bis 32° C von weniger als 3 auf 13,4 % bei Temperaturen von 33° C. Bezogen auf AHSV erhöhte sich die Anzahl der kompetenten Individuen nur von weniger als 3 auf 6,1 %. Wittmann (2000) vermutet, dass die starke Erhöhung der Kompetenz für BTV auf die Verwendung von Pferdeblut beim Versuchsaufbau zurückzuführen ist. Sie geht davon aus, dass mit Schafsblut eine ähnliche Steigerung für BTV stattgefunden hätte wie hier für AHSV mit Pferdeblut. Die nicht signifikant höheren Infektionsraten der Gnitzen, die während der gesamten Aufzuchtperiode 33° C Lufttemperatur ausgesetzt waren, führt Wittmann (2000) darauf zurück, dass die Entwicklung der epithelialen Zellen des Mitteldarms wahrscheinlich kurz vor der Verpuppungsphase beginnt.



Sollte die erhöhte Anzahl kompetenter Vektoren also tatsächlich auf eine Schädigung des Mitteldarms zurückzuführen sein, ist es wahrscheinlich, dass *C. nubeculosus* bei hohen Temperaturen ebenso empfänglich für andere Serotypen von BTV und AHSV ist. Da die meisten Arboviren sich im Hämocoel vermehren, wenn sie die Darmbarriere umgangen haben, ist es gut möglich, dass *C. nubeculosus* für viele verschiedene Arboviren als so genannter „universal vector“ dienen könnte (Mitchell, 1983).

Außerdem könnten hohe Temperaturen auch auf andere *Culicoides*-Arten einen ähnlichen Effekt haben. So vermuteten Mellor und Mitarbeiter (1998), dass ihre Funde von AHSV 4 in *C. obsoletus* und *C. pulicaris* in Spanien (Mellor et al., 1990) auch auf das „leaky gut“-Phänomen zurückzuführen sei.

Für adulte *C. nubeculosus* stellte Olbrich (1987) im Freiland die höchste Abundanz am Rind bei 10,1 bis 15° C fest. Zudem bevorzugen sie eine völlige Bewölkung und relative Windstille (Olbrich, 1987). Außerdem kommen *C. nubeculosus* punktuell in hohen Abundanzen vor (Downes, 1950). Dann sind Massenangriffe von etwa 2000 Gnitzen innerhalb von 15 Minuten auf ein Rind möglich (Nielsen und Christensen, 1975).

### 3.7.2 *C. obsoletus*

Für *C. obsoletus* konnte Olbrich (1987) in drei aufeinanderfolgenden Jahren in der Nähe von Hannover eine Abundanz von Mai bis November feststellen. Die Größe der Population mit einem Höhepunkt Anfang August und kontinuierlich hohen Individuenzahlen war witterungsbedingt. Havelka (1976 a,b) sowie Havelka und Caspers (1981) wiesen adulte *C. obsoletus* von Mai bis Oktober nach. Kremer (1965) stellte Ende Juni und Ende August als Höhepunkte fest. Für Großbritannien konstatieren Townley (1984) sowie Campbell und Pellham-Clinton (1960) eine Flugzeit von April bis Ende Oktober. Die Abundanzmaxima bauen sich regional unterschiedlich auf. In Schottland gilt der Mai als Höhepunkt (Service, 1969), in England Juni und Ende September (Campbell und Pellham-Clinton, 1960). Pro Jahr entwickeln sich je nach Witterung drei bis vier Generationen von *C. obsoletus* (Olbrich, 1987).

Als optimale Bedingungen für *C. obsoletus* bestätigte und erweiterte Olbrich (1987) die Ergebnisse von Zhdanova (1975):

- 0 bis 0,6 m/s Windstärke
- 60 bis 100 % relative Luftfeuchte
- 11 bis 20°C Lufttemperatur

- Lichtintensität: Dunkelheit bis 5000 lux

### 3.8 *C. imicola* als dominanter Vektor im europäisch-afrikanischen Raum

Die niedrigsten Tageshöchsttemperaturen, bei denen *C. imicola* gefangen wurde, waren bisher 18°C in Südafrika (Nevill, 1971), 17°C in Kenia (Walker, 1977) und 20°C in Nigeria (Dipeolu et al., 1974). Für ein ganzjähriges Vorkommen von *C. imicola* müssen nach Sellers und Mellor (1993) Temperaturbedingungen gegeben sein, wie sie bereits in Kapitel 2.6.4 erläutert wurden. Die Mindesttemperatur, bei der sich AHSV 8 in *C. imicola* entwickeln kann, liegt bei 9,9° C. Auch in *C. variipennis sonorensis* können sich Orbiviren ab dieser Temperatur entwickeln. Es ist wahrscheinlich, dass diese Mindesttemperatur sich bei *C. imicola* auch für andere Orbiviren verallgemeinern lässt (Wittmann, 2000). Für *C. imicola* fand Wittmann (2000) heraus, dass die Temperatur keine signifikante Beeinflussung der Vektorkompetenz bewirkt. Allerdings verkürzt sich die EIP bei steigenden Temperaturen (siehe Tabelle 5).

Tab. 5: Näherungswerte der mittleren EIP für AHSV 8 in *C. imicola* bei verschiedenen Haltungstemperaturen (Wittmann, 2000, S. 90)

Temperatur	15°C	18°C	26°C	30°C
EIP (in Tagen)	12,4	10,0	6,4	3,4

Wittmann (2000) stellte für die Verbreitung von *C. imicola* auf der iberischen Halbinsel fest, dass die signifikanten Temperaturbedingungen gegeben waren durch:

1. das Minimum der monatlichen Tiefsttemperatur eines Jahres,
2. das Maximum der monatlichen Höchsttemperatur eines Jahres,
3. die Anzahl der Monate mit einer Durchschnittstemperatur  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$ .

Als Basis dienten Temperaturwerte der Jahre 1931 bis 1960. Es ergab sich die Voraussage für das Vorkommen von *C. imicola* mit einer Sicherheit von 83 %, wobei die nicht zutreffenden Bereiche dadurch gekennzeichnet waren, dass dort *C. imicola* nicht nachgewiesen war. Das bedeutet aber trotzdem, dass dort eine Ansiedlung von *C. imicola* durchaus möglich wäre (Wittmann, 2000). Die entsprechenden Ergebnisse sind in Tabelle 6 wiedergegeben.

Tab. 6: Durchschnittswerte (+/- SE) für die klimatischen Variablen und Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Verbreitung von *C. imicola* auf der iberischen Halbinsel (modifiziert nach Wittmann, 2000, S. 121)

<b>Temperatur in °C</b>	<b>Orte, in denen <i>C. imicola</i> nachge- wiesen wurden n = 16</b>	<b>Orte, in denen <i>C. imicola</i> nicht nachgewiesen wurden n = 14</b>	<b><math>\chi^2</math> (df = 1)</b>
<b>Minimum der monatl. Tiefsttemperatur</b>	5,1 ± 0,7	4,8 ± 0,6	6,39*
<b>Maximum der monatl. Maximaltemperatur</b>	31,8 ± 0,8	28,3 ± 1,0	7,28**
<b>Anzahl der Monate pro Jahr mit einer durchschnittlichen Temperatur ≥ 12,5°C</b>	8,5 ± 0,4	7,8 ± 0,3	4,34*

df = degrees of freedom

\* p < 0,05    \*\* p < 0,01

Mit Hilfe dieser Werte ließ sich eine recht zuverlässige Karte für die Verbreitung von *C. imicola* in Europa erstellen (Wittmann, 2000), zumal eine nördliche Begrenzung durch niedrige Temperaturen wahrscheinlich ist (Baylis und Rawlings, 1998). Genauere Daten über Deutschland wurden in diese Karte nicht eingearbeitet, da deren Verfasserin eine Ausbreitung von *C. imicola* bis nach Deutschland bezweifelt (Wittmann, pers. Mitteilung). Die in der vorliegenden Arbeit durchgeführte Untersuchung wird darüber Aufschluss geben.

Eine weitere Beschränkung der Verbreitung ergibt sich aus den jährlichen Niederschlagsmengen: Für Afrika fanden Meiswinkel und Baylis (1998) die höchste Auftretenswahrscheinlichkeit bei 300 bis 700 mm / Jahr, Nevill (1967) befand Gebiete mit einem jährlichen Niederschlag von mehr als 700 mm als Brutstätten für *C. imicola* ungeeignet.

Auch zu große Windstärken können ein Auftreten von *C. imicola* negativ beeinflussen (Baylis et al., 1998 a, b).

## **4 Literaturübersicht: Globale Erwärmung und deren Auswirkung auf vektorübertragene Krankheiten**

### **4.1 Globale Erwärmung**

Die Ergebnisse des achten Treffens der Working Group I des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), von Delegationen aus 100 Ländern vom 17. - 20. Januar 2001 in Shanghai (Third assessment report) stellen sich wie folgt dar (IPCC, 2001):

- seit 1861 hat sich die Temperatur global um  $0,6 \pm 0,2^\circ \text{C}$  erhöht;
- mit einer Sicherheit von 90 bis 99 % waren die Jahre 1990 bis 2000 die wärmste Dekade und 1998 das wärmste Jahr seit 1861;
- mit einer Sicherheit von 66 bis 90 % ist in der nördlichen Hemisphäre das 20. Jahrhundert das wärmste seit 1000 Jahren, die Jahre 1990 bis 2000 die wärmste Dekade und 1998 das wärmste Jahr seit 1000 Jahren;
- im Durchschnitt haben sich zwischen den Jahren 1950 und 1993 die täglichen Minimaltemperaturen in der Nacht um  $0,2^\circ \text{C}$  pro Dekade erhöht, die täglichen Maximaltemperaturen tagsüber um  $0,1^\circ \text{C}$  pro Dekade;
- mit einer Sicherheit von 90 bis 99 % haben sich die Niederschlagsmengen in der nördlichen Hemisphäre im 20. Jahrhundert um 0,5 bis 1 % pro Dekade erhöht;
- mit einer Sicherheit von 66 bis 90 % ist in den Jahren 1990 bis 2100 eine globale Temperaturerhöhung von  $1,4$  bis  $5,8^\circ \text{C}$  zu erwarten, wahrscheinlich ist eine Erhöhung von  $0,1$  bis  $0,2^\circ \text{C}$  pro Dekade;
- mit einer Sicherheit von 90 bis 99 % werden sich die Temperaturen über den Kontinenten stärker erhöhen als der globale Durchschnitt, vor allem in den kalten Jahreszeiten der nördlichen Breitengrade.

Tabelle 7 zeigt die klimatischen Änderungen mit Angaben über die Sicherheit der Voraussagen.

Tab. 7: Einschätzung der Verlässlichkeit beobachteter und projizierter klimatischer Veränderungen (modifiziert nach IPCC, 2001, S. 9)

Verlässlichkeit beobachteter Veränderungen (zweite Hälfte des 20. Jahrhunderts)	Klimatische Veränderungen	Verlässlichkeit projizierter Veränderungen (im 21. Jahrhundert)
wahrscheinlich	höhere Maximaltemperaturen und mehr heiße Tage über fast allen Landgebieten	sehr wahrscheinlich
sehr wahrscheinlich	höhere Minimaltemperaturen, weniger kalte Tage und weniger Frosttage in fast allen Landgebieten	sehr wahrscheinlich
sehr wahrscheinlich	kleinere Temperaturschwankungen im Tagesgang in fast allen Landgebieten	sehr wahrscheinlich
wahrscheinlich, in vielen Regionen	Anstieg des heat index <sup>+</sup> über Land	sehr wahrscheinlich, in den meisten Regionen
wahrscheinlich, in mittleren und höheren nördlichen Breiten über Land	größere Anzahl starker Niederschlagsereignisse <sup>++</sup>	sehr wahrscheinlich, in vielen Regionen
wahrscheinlich, in einigen Regionen	trockenere kontinentale Sommer mit erhöhter Gefahr einer Dürre	wahrscheinlich, in den meisten mittleren Breiten mit Kontinentalklima (In anderen Gebieten fehlen sichere Voraussagen)

Sehr wahrscheinlich  $\Leftrightarrow$  90 bis 99 % Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis wahrheitsgemäß ist

Wahrscheinlich  $\Leftrightarrow$  66 bis 90 % Wahrscheinlichkeit, dass das Ergebnis wahrheitsgemäß ist

<sup>+</sup> Heat index: Eine Kombination aus Temperatur und Luftfeuchtigkeit, die den Effekt auf das menschliche Wohlbefinden misst

<sup>++</sup> Für andere Regionen gibt es entweder zu wenige Daten oder widersprüchliche Analysen

## 4.2 Auswirkung des Klimas auf vektorübertragene Krankheiten

Eine der direkten Auswirkungen der Klimaerwärmung wird eine Änderung im Vorkommen und in der Verbreitung von Insektenarten sein (Sutherst, 1990). „This is particularly worrying in the case of insects that transmit pathogens or parasites to humans and livestock, since it is likely to affect the prevalence of insect-borne diseases“ (Wittmann und Baylis, 2000, S. 107).

Bei einigen Insektenarten ist bereits ein Effekt der klimatischen Veränderungen aufgetreten: So fanden Parmesan und Mitarbeiter (1999) heraus, dass 14 Schmetterlingsarten ihr Verbreitungsgebiet in Europa während der letzten 100 Jahre zwischen 35 und 240 km in den Norden ausgedehnt haben. Bishop und Mitarbeiter (1995) stellten fest, dass eine Erhöhung

der Temperaturen im Winter um 2° C eine Verlängerung des Auftretens von *C. brevitarsis* um 0,7 Monate pro Jahr bedeuten würde. In den Kapiteln 3.5 und 3.6 wurde bereits auf die Auswirkungen des Klimas auf *Culicoides* spp. und dadurch auch auf BTD eingegangen: Änderungen der Vektorkapazität und Vektorkompetenz, der Populationsgröße, der Brutmöglichkeiten, der EIP, der Überlebensrate und der Verbreitung können die Folge eines veränderten Klimas sein. Zudem könnte eine veränderte Verbreitung von *C. imicola* BTV in die Reichweite heimischer Vektoren bringen (Wittmann und Baylis, 2000). Was das konkret für Deutschland im Hinblick auf BTD bedeutet, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit untersucht.

## 5 Material und Methoden

### 5.1 Zielsetzung

Es wird untersucht, in welchen Gebieten Deutschlands die klimatischen Bedingungen in Kombination mit den Besatzdichten ein Auftreten von *Culicoides* spp. begünstigen und somit ein Risiko durch das Einschleppen von BTD besteht. Mit Hilfe eines GIS werden die Ergebnisse dargestellt.

### 5.2 Die Daten

#### 5.2.1 Auswahl der Klimadaten

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) erhebt täglich, teilweise auch stündlich, an 1124 Stationen diverse Klimadaten. Die Lufttemperatur wird an klimatologischen Messstationen in 2 m Höhe über Grund strahlungsgeschützt täglich um 7:00, 14:00 und 21:00 Uhr mittlerer Ortszeit (MOZ) gemessen. Außerdem werden mit speziellen Extremthermometern das tägliche Temperaturmaximum und -minimum registriert.

##### 5.2.1.1 Daten für die Deutschlandkarten

Für die Deutschlandkarten wurden beim DWD die täglichen Maximaltemperaturen von 100 Orten im Jahr 2000 bestellt. Nach welchen Kriterien die Auswahl getroffen wurde, wird in den Kapiteln 5.2.1.1.1, 5.2.1.1.2 und 5.2.2.1 genauer erläutert.

Zudem wurde die Bestandsdichte aus der Viehzählung vom Dezember 1996, die von der Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten in Wusterhausen zur Verfügung gestellt wurde, eingearbeitet. Auch hierzu die Erläuterung in Kapitel 5.2.1.1.1.

##### 5.2.1.1.1 Auswahl der Parameter

Zur Auswahl standen klimatische Parameter, die in den Kapiteln 3.5.1 bis 3.5.7 erläutert wurden.

- Temperatur: Die Temperatur ist ein geeignetes Ausscheidungsmerkmal. Zum einen gibt es einige Untersuchungen über die Temperaturabhängigkeit (s. Kap. 2.6.4, 3.5.1, 3.7.1, 3.7.2 und 3.8), v. a. über den Einfluss der täglichen Maximaltemperaturen, zum anderen ist in

Deutschland die Temperatur der Faktor, der über Vorkommen oder Nichtvorkommen einer Art entscheidet, da andere Einflussfaktoren nicht so maßgebend oder bereits erfüllt sind.

- Niederschlag: Untersuchungen über optimale Niederschlagsmengen für das Auftreten von *Culicoides* spp. gibt es nur für Afrika. Dort ist ein Jahresniederschlag von 300 bis 700 mm am günstigsten (Meiswinkel und Baylis, 1998), Gebiete mit mehr als 700 mm sind ungeeignet, weil die verpuppten Stadien ertrinken (Nevill, 1967). Da sich die Verteilung des Niederschlags über das Jahr in Afrika grundsätzlich anders darstellt als in Deutschland, ist der Niederschlag als Ausscheidungskriterium nicht verlässlich. In Deutschland sind Regenfälle kontinuierlich über das Jahr verteilt. Das führt möglicherweise dazu, dass auch jährliche Niederschläge über 700 mm nicht unbedingt zu einem Überschwemmen der Brutgebiete führen müssen, während der Jahresniederschlag in vielen afrikanischen Gebieten gebündelter und somit für die Puppenstadien ungünstig ist.
- Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): Die positive Korrelation zwischen dem minimalen NDVI und der Abundanz von *Culicoides* spp. ist von Baylis und Rawlings (1998) für Marokko und Spanien gezeigt worden, d. h. je höher der minimale NDVI war, desto höher war auch die Vorkommenshäufigkeit der Gnitzen. Im Vergleich zu diesen eher trockenen Regionen ist die photosynthetische Aktivität in ganz Deutschland im Jahresdurchschnitt höher als die Mindestgrenze, die Baylis und Rawlings (1998) für das Vorkommen von *Culicoides* spp. gefunden haben (Earthobservatory [NASA], 2001). Daher kann der minimale NDVI für Deutschland nicht als Ausscheidungsmerkmal dienen.
- Windstärke: Das Vorkommen, die Abundanz und die Aktivität von *Culicoides* spp. werden vom Wind beeinflusst (s. Kap. 3.5.4). Daher wird nach den ersten Ergebnissen (die durch die Temperatur begünstigten Orte) die Windstärke in die Detailkarten eingebracht.
- Viehbestand: Die Rinderbesatzdichte hat, wie in Kapitel 2.6.5 geschildert, Einfluss auf die Epidemiologie. Sie wird in die Karten eingearbeitet.
- Luftfeuchte: Wie u. a. von Blackwell (1997) beschrieben, ändert sich die Luftfeuchtigkeit im Tag-Nacht-Rhythmus. Teilweise widersprechen sich die Angaben in der Literatur (s. Kap. 3.5.5), teilweise sind sie zur Weiterverwendung zu ungenau. Olbrich (1987) fand Präferenzen von *Culicoides* bei einer Luftfeuchte von 60,1 bis 70 % und bei 80,1 bis 90 %, konnte aber in der statistischen Auswertung keine Signifikanzen feststellen. Im Bereich unter 50 % relativer Luftfeuchte nahmen die Fänge jedoch deutlich ab. Auch Baylis und Rawlings (1998) konnten zwischen der relativen Luftfeuchtigkeit und der



Abundanz von *C. imicola* keine signifikante Korrelation herstellen. So wird in dieser Arbeit auf das Einbringen der Luftfeuchtigkeit als Ausscheidungsmerkmal verzichtet.

- Lichtstärke und Bewölkungsdichte: Diese beiden Parameter beziehen sich auf den Tag-Nacht-Rhythmus der Gnitzen und sind für diese Arbeit unerheblich.

#### 5.2.1.1.2 Gewählter Zeitraum

Nach Müller-Westermeier, Deutscher Wetterdienst (2001), war im Zeitraum der letzten 100 Jahre das Jahr 2000 mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9,9° C das wärmste Jahr in Deutschland, auch wenn der Bericht des IPCC (s. Kapitel 4.1) global 1998 als wärmstes Jahr angibt. Daher wurden Daten des Jahres 2000 ausgewählt. Mit dieser Auswahl als „worst case“ wird hier die grundsätzliche Möglichkeit einer Ansiedlung von BTV in Deutschland untersucht.

#### 5.2.1.2 Daten für die Detailkarten

Im Bereich der in der Deutschlandkarte gefundenen Zone 1 (Karte 20, Anhang 2) wurden Detailkarten erstellt, die weitere Parameter (s. Kap. 5.2.1.2.1), weitere Orte (s. Kap. 5.2.2.2), und einen größeren Zeitraum (s. Kap. 5.2.1.2.2) einbezogen. Dadurch wurde eine genauere Darstellung des möglichen Risikogebietes sowie eine verlässlichere Aussage über Zone 1 als Habitat für *Culicoides* spp. bzw. als gefährdetes Gebiet für die Einschleppung von BTD möglich.

##### 5.2.1.2.1 Gewählte Parameter

Wie in Kapitel 3.5.4 beschrieben, beeinflusst die Windstärke das Vorkommen von *Culicoides*-Arten. So wurden für Orte, die sich durch ihre Temperaturen gut als Habitat für die Gnitzen eignen, die täglichen Windstärken als weitere Parameter eingefügt.

Zwar lassen die jährlichen Niederschlagsmengen in deutschen Breiten keine verlässliche Aussage über die Qualität des Habitats von *Culicoides* zu (vgl. Kapitel 5.2.1.1.1), dennoch wurde dieser Parameter für einige Orte hinzugenommen, um zu überprüfen, ob ein Rahmen gegeben ist, in dem nach den Literaturangaben unter Bedenken der unterschiedlichen Verteilung des Niederschlags ein Vorkommen der Gnitzen möglich ist.

Tabelle 14 (s. Kap. 5.2.2.2) bzw. Karte 18 (Anhang 2) zeigen die Orte, für die beim DWD die zusätzlichen Klimadaten bestellt wurden.

#### 5.2.1.2.2 Gewählter Zeitraum

Für das Einbringen der weiteren Parameter wurde erneut das Jahr 2000 gewählt, und zwar für die täglichen Windstärken sowie den Jahresniederschlag. Auch hier lag die Begründung wieder in der warmen durchschnittlichen Jahresmaximaltemperatur. Um aber festzustellen, ob die Ergebnisse auch über einen längeren Zeitraum repräsentativ sind, wurden für einige Orte aus dem Kerngebiet der Zone 1 der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2) sowie der Zone A der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) die Mittel der monatlichen Maximaltemperaturen von 1990 bis 1999 hinzugenommen. Dadurch konnte der Verlauf der Temperaturen über insgesamt zehn Jahre beurteilt werden. Den meteorologisch aussagefähigeren und daher üblicheren Zeitraum von 30 Jahren zu untersuchen würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen und ist zudem für die Zielsetzung nicht notwendig. Tabelle 14 in Kapitel 5.2.2.2 zeigt, für welche Orte welche zusätzlichen Daten beim DWD bestellt wurden.

### 5.2.2 Auswahl der Orte

In Deutschland existieren zur Zeit 1124 Klimastationen. 287 Stationen messen stündlich die Temperatur. Aus diesen Stationen musste eine geeignete Auswahl getroffen werden.

#### 5.2.2.1 Auswahl der Orte für die Deutschlandkarten

Die Auswahl der Orte wurde nach mehreren Kriterien vorgenommen:

1. Alle Orte mit Flughäfen, soweit möglich (Tab. 8, Anhang 1: Deutsche Flughäfen und Tab. 10, Anhang 1: Orte, die nach dem Kriterium „Flughafennähe“ ausgesucht wurden). Von dort aus kann eine mögliche Einfuhr von Mücken erfolgen. Flughäfen ohne Klimastation oder ohne Messung im fraglichen Zeitraum wurden durch nahegelegene Orte ersetzt. Insgesamt wurden nach diesem Kriterium 36 Orte ausgewählt.
2. Höhe der Orte: Jeweils fünf Orte in den Höhenstufen 0 bis 300 m, 301 bis 600 m, 601 bis 900 m und > 901 m (ausschließlich Klimastationen, die stündlich die Temperatur messen). Sie sind in Tabelle 9, Anhang 1 aufgelistet.
3. Klimatische Kriterien : Orte, in denen warmes und mildes Klima ein Überleben der Gniten begünstigt (Tabelle 11, Anhang 1). Dazu wurden folgende thematische Karten zu Rate gezogen:
  - a) Deutschland - Klima (Dierke-Weltatlas, 1996),

- b) Frühlingseinzug - Beginn der Apfelblüte (Alexander-Weltatlas, 1982; Geo-Spezial „Wetter“, 1982),
- c) Mittlere Temperatur Januar und mittlere Temperatur Juli (Geo-Spezial „Wetter“, 1982),
- d) Sonnenscheindauer über das Jahr (Geo-Spezial „Wetter“, 1982),
- e) Frostfreie Zeit (Geo-Spezial „Wetter“, 1982).

Insgesamt wurden nach diesem Kriterium 44 Orte ausgewählt. Bevorzugt wurden Orte, die nach a) die größte Anzahl Monate mit einer Temperatur von  $\geq 10^{\circ}$  C sowie eine hohe mittlere Januar- und mittlere Juli-Temperatur hatten (letzteres auch nach c); Orte, die nach b) einen frühen Frühlingseinzug hatten und Orte, die eine große Sonnenscheindauer über das Jahr (nach d) sowie eine lange frostfreie Zeit (nach e) aufwiesen.

Voraussetzung für die gesamte Auswahl war, dass die jeweiligen Stationen im Jahr 2000 Klimadaten erfassten. Dadurch entfielen eine ganze Reihe von Orten. Zudem wurde darauf geachtet, dass die Orte sich flächendeckend über Deutschland verteilen, um eine Interpolation zwischen den Orten möglich zu machen und die gesamte Fläche zu erfassen.

Es ergab sich eine Gesamtmenge von 100 ausgewählten Klimastationen.

Die Karte mit den ausgewählten Orten ist in Anhang 2 einzusehen (Karte 1) bzw. als Tabelle in Anhang 1 (Tab. 12).

#### 5.2.2.1.1 Fehlende Daten

Von den 100 ausgewählten Klimastationen konnten vom DWD nur 88 Stationen mit insgesamt 31 100 Tagen verarbeitet werden. Zusätzlich sind folgende Lücken entstanden:

1. Station 348 (Bendorf): Lücke zwischen 10.12. und 13.12.2000;
2. Station 1201 (Elsdorf): Lücke zwischen 31.8. und 1.10.2000;
3. Station 603 (Bonn): Beginn erst 1.7., Lücke zwischen 24.10. und 26.10.2000;
4. Station 706 (Eschbach): Lücke zwischen 31.7. und 1.9.2000;
5. Station 773 (Bühlertal-Obertal): Lücke zwischen 31.7. und 1.9.2000;
6. Station 1694 (Goldberg): Lücke zwischen 29.1. und 1.2.2000;
7. Station 4347 (Bad Sachsa): Daten nur vom 1.1. bis 31.1.2000;
8. Station 1572 (Geilenkirchen): Beginn erst 1.7.2000. Lücken jeweils zwischen 25.8. und 27.8., 1.9. und 3.9., 8.9. und 10.9., 15.9. und 17.9., 22.9. und 24.9., 29.9. und 1.10., 6.10. und 8.10., 13.10. und 15.10. 2000.

Die zwölf fehlenden Stationen sind: 1032 (Dortmund), 1079 (Düsseldorf), 3753 (Ochtrup), 5564 (Wildenrath), 1229 (Bad Ems), 5681 (Wolfstein), 6207 (Trautenstein), 6120 (Oberhof), 1169 (Eimeldingen), 3388 (München), 3879 (Passau) und 3776 (Offenbach).

#### 5.2.2.2 Auswahl der Orte für die Detailkarten

Um weitere Parameter einzubringen, wurden für die Detailkarten Orte ausgesucht, die zum Kerngebiet der Zone 1 in der Gebietseinteilung gehören. Kehl wies als einziger Ort noch zusätzlich im April und Oktober 2000 durchschnittliche Maximaltemperaturen  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  auf. Zu diesen Orten wurden auch die monatlichen Mittel der Maximaltemperaturen für zehn Jahre angefordert, so dass ein Verlauf beurteilt werden konnte.

Die anderen Orte, die neu hinzukamen und für die die täglichen Maximaltemperaturen im Jahr 2000 bestellt wurden, dienten der präziseren Eingrenzung der Zone 1. Auch diese Orte lagen innerhalb Zone 1, es sollte jedoch überprüft werden, ob es nicht zu Ungenauigkeiten wegen der wenigen Messpunkte gekommen war (Tab. 14; Karte 18, Anhang 2).

Tab. 14: Auswahl der Orte für die Detailkarten (Fortsetzung nächste Seite)

<b>Ort</b>	<b>zusätzlicher Ort</b>	<b>zusätzliche Parameter</b>	<b>monatl. Mittel der Maximaltemperaturen von 1990 bis 1999</b>
Kehl	-	x	x
Offenburg	-	x	x
Vogtsburg	-	x	x
Waghäusel	-	x	x
Duisburg	-	x	-
Leverkusen	-	x	-
Worms	-	x	x
Karlsruhe	-	x	x
Freiburg im Breisgau	x	x	x
Baden-Baden	x	-	x
Bretten	x	-	x
Eberbach	x	-	x
Emmendingen	x	-	-
Gengenbach	x	-	x
Herrenalb	x	-	-

<b>Ort</b>	<b>zusätzlicher Ort</b>	<b>zusätzliche Parameter</b>	<b>monatl. Mittel der Maximaltemperaturen von 1990 bis 1999</b>
Hornisgrind	x	-	-
Bergzabern	x	-	-
Neustadt/Weinstr.	x	-	x

### 5.2.2.3 Auswahl der Orte und Monate für die Monatsdiagramme

Zur Erstellung der Diagramme über spezielle Sommermonate wurden Orte, die aufgrund sehr heißer Monatsmittel in verschiedenen Jahren auffielen, gewählt. Für diese besonders warmen Monate wurden die täglichen Temperaturmaxima angefordert. So konnte überprüft werden, ob eine Beeinflussung der Vektorkompetenz durch die Temperatur in Deutschland möglich ist.

Tab. 15: Auswahl der Stationen und Monate für die Monatsdiagramme

<b>Station</b>	<b>August 1990</b>	<b>Juli 1991</b>	<b>August 1991</b>	<b>August 1992</b>	<b>Juli 1994</b>	<b>Juli 1995</b>	<b>August 1997</b>
<b>Karlsruhe</b>	x	x	x	x	X	x	x
<b>Vogtsburg</b>	x	x	x	x	-	-	-
<b>Freiburg</b>	x	x	x	x	x	x	-
<b>Kehl</b>	-	x	x	x	-	-	-
<b>Waghäusel</b>	-	x	x	x	x	x	-

### 5.2.3 Verarbeitung der Daten

Die Daten lieferte der DWD im ASCII-Format. Zur weiteren Verarbeitung mussten die Daten in Excel importiert und teilweise in ein Datenbankformat (dbf) umgeschrieben werden. Um ein Einfügen in das Programm „ArcView“ zu ermöglichen, wurden Mittelwerte erstellt und Tabellen in ein für das GIS lesbares Format gebracht.

Die Daten über die Windgeschwindigkeit gab der DWD in der Einheit Beaufort an. Dies ist eine Einheit, die die Windgeschwindigkeit nach ihrer Auswirkung in eine Skala von 0 bis 12 einteilt, z. B. entsprechen zwei Beaufort einer leichten Brise, an Land messbar durch eine sich

bewegende Windfahne, auf See erkennbar durch kleine Wellen mit glasigen Kämmen. Diese Schätzwerte lassen sich in präzisere Werte umrechnen, so entsprechen z. B. zwei Beaufort 1,6 bis 3,3 m/s beziehungsweise 6 bis 11 km/h. Diese Skala ist allgemeingültig und u. a. auf der homepage des DWD (2001) einzusehen.

#### 5.2.4 Daten über die Besatzdichte

Die Daten aus der Viehzählung wurden gekoppelt mit Informationen über die Landkreise und deren Fläche. Dann wurde für jeden Kreis das Rindervorkommen pro Quadratkilometer errechnet und in die Deutschlandkarte (Karte 2, Anhang 2) sowie in die Detailkarte (Karte 19, Anhang 2) eingearbeitet.

### 5.3 Das Geographische Informationssystem

Beim verwendeten Geographischen Informationssystem (GIS) handelt es sich um „ArcView 3.2 a“ von der Firma ESRI, Redlands, USA.

Ein Geographisches Informationssystem bildet in einem computergestützten System die reale Welt modellhaft ab. Die Erdoberfläche wird hierzu auf ihre elementaren Einheiten, also auf Punkte, Linien und Flächen vereinfacht und als geographische Vektordaten in kartographischer Form digital dargestellt. Ein GIS ermöglicht es weiterhin, diese geographischen Daten zu erfassen, abzuändern, zu verwalten, sie zu modellieren und zu analysieren sowie alphanummerisch und graphisch zu präsentieren. Jedes Element, oft auch als Objekt bezeichnet, wird in einer speziellen Datenbank im Computer abgelegt. Die Lage, Ausprägung und die Beziehung der einzelnen Objekte untereinander wird hierbei als räumliche Information erfasst, deren Eigenschaften (sog. Attribute) als beschreibende Informationen mit abgespeichert werden (ESRI, 2002). Das Programm „ArcView“ erlaubt, geographische Informationen, also Karten, mit anderen Daten in Verbindung zu setzen, z. B. mit Temperaturen oder auch mit Viehvorkommen. So ermöglicht es eine graphische Darstellung des Risikos der Einschleppung von Tierseuchen.

Das Material für die Darstellung, so z. B. die Fläche Deutschlands mit den Bundesländern, die Flüsse, die Postleitzahlen und weitere Grunddaten stellte die Firma ESRI zur Verfügung. Daran nahm die Verfasserin kleinere Veränderungen vor. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wurde z. B. nur ein Teil der Flüsse Deutschlands in den Karten belassen. Die Koordinaten der

Stationen lieferte der DWD in Längen- und Breitengraden. Sie wurden zum Einfügen in das GIS in Dezimalgrade umgerechnet.

Der Mathematiker Leonhard Euler (1707-1783) bewies, dass es unmöglich ist, eine Kugel verzerrungsfrei auf eine Ebene abzubilden. Es kommt zu Längen-, Winkel- und Flächenverzerrungen. Differentialgeometrische Folgerungen führen zu dem Schluss, dass sich Winkeltreue und Flächentreue ausschließen. Längentreue bedeutet, dass der Abstand zweier Punkte bis auf einen Maßstabsfaktor  $m$  erhalten bleibt. Winkeltreue Abbildungen zeichnen sich dadurch aus, dass der Winkel zwischen zwei sich schneidenden Linien in Original und Abbildung gleich bleibt. Der Begriff Flächentreue sagt aus, dass einander zugeordnete Flächenelemente in Original und Bild in jedem Punkt flächengleich sind (Sosna, 1999). „Abbildungen mit dieser Eigenschaft [der Flächentreue, Anm. d. Verf.] werden in der Geographie gern benutzt, da häufig die Bedeutung eines Merkmals mit seiner flächenhaften Ausdehnung einhergeht“ (Sosna, 1999, S. 1). Demzufolge wurden in den in dieser Arbeit erstellten Karten flächentreue Abbildungen gewählt. Ein weiterer Weg, Verzerrungen zu verringern, sind Kegel- und Zylinderprojektionen (Sosna, 1999). Für alle erstellten Karten wurde eine Kegelprojektion nach Albers verwendet, eine flächentreue Abbildung, die die Verzerrung zwischen zwei je nach Lage gewählten Parallelen sehr gering hält. Diese Art der Karte wird bei Darstellungen von Ländern und kleineren Regionen gewählt. Vornehmlich die Verzerrung in Ost-West-Richtung wird hierbei minimal gehalten (ESRI, 2002).

### 5.3.1 Die Interpolation

Um trotz der relativ geringen Menge an Messstationen eine deutschlandweite Risikoabstufung erstellen zu können, wurden die Werte zwischen den Stationen interpoliert. Zudem wurde dadurch die Temperaturverteilung bezogen auf die Mittelwerte der monatlichen Maximaltemperaturen optisch dargestellt und somit leichter interpretierbar.

Zur Interpolation bot sich ein Verfahren namens IDW (Inverse Distance Weighted) an. IDW ist ein lineares Interpolationsverfahren, das die Punkte je nach Abstand zum zu errechnenden Punkt unterschiedlich wichtet, d. h. ein Punkt, der doppelt so weit vom gesuchten Punkt entfernt liegt wie ein anderer, wird nur halb so stark bewertet. Dieses Interpolationsverfahren ist ein Standardverfahren, das auch vom DWD beim Erstellen klimatologischer Karten verwendet wird (Müller-Westermeier, 1995). Als Bezugspunkte wurden die zwölf nächsten Nachbarorte gewählt. Diese so errechneten Werte wurden wiederum mit der Summe der

gesamten Werte in Bezug gesetzt. So konnte ein Raster über ganz Deutschland gelegt werden, das an jedem beliebigen Punkt mit einer gemessenen oder errechneten mittleren monatlichen Maximaltemperatur belegt ist, die jeweils in unterschiedlichen Farben dargestellt ist. Zusätzlich wurden in 0,5° C bzw. 1° C-Schritten Isolinien erstellt und mit Beschriftungen in Grad Celsius versehen, um eine genauere Einteilung in Gebiete zu ermöglichen.

Ein Faktor, der zu Ungenauigkeiten führte, waren die unterschiedlichen Höhenstufen der Messstationen. Da dem Interpolationsprogramm die Höhenstufen nicht bekannt waren, verfuhr es mit den Messpunkten, als befänden sie sich auf einer Ebene. Dadurch ergaben sich im Bereich von Bergen, wie z. B. dem großen Feldberg im Schwarzwald, zu niedrige Temperaturen im Umkreis, also eine verhältnismäßig zu große kältere Zone. Mehr Messpunkte oder/und ein Einbeziehen der Höhenstufen in die Interpolation würden eine präzisere Darstellung erlauben, sind allerdings für diese Arbeit aus zwei Gründen nicht notwendig: Erstens soll hier nur beispielhaft gezeigt werden, wie mit Hilfe von GIS eine Risikoabschätzung erstellt werden kann und zweitens kommt es in diesem Fall vor allem auf die wärmeren Gebiete an, die nur eine kleinere Ungenauigkeit wegen zu weniger Messpunkte aufweisen. Außerdem wurden für die gefährdeteren Gebiete noch weitere Daten eingebracht, so dass man die Ungenauigkeiten in den deutschlandweiten Karten vernachlässigen kann. Auf diese Weise wurde für jeden Monat des Jahres 2000 eine Karte erstellt. Das Einbeziehen der Höhenlage der Orte wird bei der Erstellung von Klimakarten durch den DWD üblicherweise durchgeführt (Müller-Westermeier, 1995). Dieses sehr aufwändige Verfahren ist aus o. g. Gründen für die vorliegende Arbeit nicht notwendig.

Zur Erstellung der Detailkarten wurde das gleiche Verfahren angewendet. Für die Karten des Jahres 2000 wurde über die gesamte Kartenfläche interpoliert. Auf den Karten für 1990 bis 1999 wurde nur über einen Ausschnitt interpoliert, um die Genauigkeit der Interpolation zu erhöhen.

### 5.3.2 Addition der Karten

Um zu ermitteln, in welchem Gebiet über das Jahr die höchsten durchschnittlichen Maximaltemperaturen bestanden, wurden die gemessenen und interpolierten Werte der zwölf Monate an jedem Punkt der Rasterkarten addiert und die jeweiligen arithmetischen Mittelwerte gebildet. Daraus entstand eine neue Karte, auf der die Gebiete nach der Höhe der Jahresmaximal-



temperaturen farblich abgestuft sind (Karte 16, Anhang 2). Dies gelang mit Hilfe der Funktion „Map Calculator“ des Programms „ArcView“.

Ebenso wurde mit den Detailkarten verfahren.

### 5.3.3 Das Postleitzahlensystem

Um eine genaue Identifikation der Risikogebiete zu ermöglichen, wurde eine Einteilung in kleinere Gebiete als bisher nötig. Zu diesem Zweck wurde eine Karte des Bundesgebietes, die nach Postleitzahlbezirken aufgeteilt war, über die Darstellung der Temperaturzonen gelegt. Durch Markieren der Postleitzahlbezirke konnten die Temperaturzonen recht genau identifiziert werden (Karte 20, Anhang 2). Ungenauigkeiten ergaben sich dadurch, dass erstens die Postleitzahlgebiete nicht entlang der Klimagrenzen verlaufen und zweitens gelegentlich zwei oder mehr kleinere, nicht zusammenhängende Gebiete zu einem Postleitzahlgebiet gehören, so dass in seltenen Fällen ein Teil markiert wurde, der nicht innerhalb einer Temperaturzone lag. Um Sicherheit zu gewährleisten, wurden die Postleitzahlgebiete im Zweifelsfall größer als die betroffenen Gebiete gewählt.

Zone (A) der Detailkarte 2000 (Karte 24, Anhang 2) wurde ebenso mit Postleitzahlgebieten näher bezeichnet.

## 5.4 Erstellung der Diagramme

Die Diagramme wurden mit Excel `97 von Microsoft erstellt. Um eine leichtere Interpretation zu gewährleisten, kennzeichnen in den Abbildungen 6, 7 und 17 (Anhang 3) gesonderte Linien die Temperaturen, die über ein Vorkommen bzw. über die Vektorkompetenz von *Culicoides* spp. entscheiden. In den Diagrammen über die wärmsten Monate (Abb. 9 bis 16, Anhang 3) sind die Tage als einzelne Punkte dargestellt, um direkt ablesen zu können, wieviele zusammenhängende Tage eine Temperatur über 33° C aufwiesen. Aus dem gleichen Grund wurde die Temperaturskala in Dreierschritten gewählt.

Flächendiagramme stellen die täglichen Windstärken von April bis Oktober 2000 dar (Abb. 8, Anhang 3). Eine Fläche zeigt konstant einen Wert von 2,3 Beaufort, was einer Geschwindigkeit von ca. 2 m/s entspricht. Die zweite Reihe, die die jeweiligen Windwerte darstellt, ist an der Stelle markiert, an der sie 3 Beaufort bzw. 3,3 m/s überschreitet. So kann man ablesen, an wie vielen Tagen die Windstärke über und unter 2 m/s bzw. 3,3 m/s beträgt. Es wurde nach

aufsteigenden Werten aufgetragen, nicht chronologisch. Eine Station wurde zusätzlich chronologisch dargestellt, um den Ablauf zu verdeutlichen.

Im Diagramm über die Höhenstufen der Orte (Abb. 5, Anhang 3) wurden die Messstationen der Zonen 1 und 2 der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2) und Zone A der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) als Zone 1 zusammengefaßt und im Vergleich zu Orten der Zone 0 (restliche Meßstationen) jeweils gegen ihre Lage über N.N. in Metern aufgetragen.

## **5.5 Simulation einer globalen Erwärmung**

Zwecks Simulation einer globalen Erwärmung wurden zu den monatlichen Mitteln der Maximaltemperaturen an jedem Punkt des Rasters 2° C addiert. Ebenso wurde mit den Tagesmaxima in den Diagrammen verfahren. Dies soll Ausblick auf einen möglichen Temperaturverlauf der nächsten 50 bis 100 Jahre geben, ohne Anspruch auf Genauigkeit dieser Vorhersage. Die Ungenauigkeit ist zum einen dadurch begründet, dass Feinheiten der Temperaturerhöhung außer Acht gelassen wurden, betreffend z. B. die unterschiedliche Erhöhung der Temperaturen über Tag und Nacht, Sommer und Winter, wie in Kapitel 4.1 beschrieben, sowie andere Parameter, wie z. B. der Niederschlag. Zum anderen führt auch die Unsicherheit in den Vorhersagen der Klimatologen „bis 2100 eine globale Temperaturerhöhung von 1,4 bis 5,8°C“ (IPPC, 2001) zu Ungenauigkeiten. Trotzdem besitzen die erstellten Karten (Karte 21 und 27, Anhang 2) sowie die Diagramme (Abb. 17 und 18, Anhang 3) Aussagekraft, da sie einen, wenn auch groben, Ausblick auf diejenigen Veränderungen geben können, die Einfluss auf *Culicoides* spp. und dementsprechend auch auf BTD haben werden.

## 6 Ergebnisse

### 6.1 Deutschlandkarten

#### 6.1.1 Temperaturen

##### 6.1.1.1 Monatsrasterkarten

Die erstellten Rasterkarten der durchschnittlichen monatlichen Maximaltemperaturen in Anhang 2 (Karte 3 bis 14) geben einen Überblick über den Temperaturverlauf im Jahr 2000. „Temperatur“, auch wenn sie nicht genauer spezifiziert wird, bedeutet hier immer die durchschnittliche monatliche Maximaltemperatur.

Die höheren Lagen, wie z. B. der Fichtelberg, fallen grundsätzlich durch weitaus kältere Temperaturen auf. Dies ist in jedem Monat so und wird daher in den Monatsbesprechungen nicht jedesmal erwähnt. Genauere Erläuterungen dazu finden sich in Kapitel 6.1.2.

- Januar

Im Januar (Karte 3, Anhang 2) zeigt sich ein ansteigender Temperaturgradient von Südosten nach Nordwesten. Der Großteil von Bayern, Thüringen und Sachsen stellt die kälteste Zone mit  $-2$  bis  $0^{\circ}\text{C}$  dar. Die nächste Zone mit  $0$  bis  $2^{\circ}\text{C}$  zieht sich von Baden-Württemberg bis Mecklenburg-Vorpommern diagonal durch Deutschland. Nordwestlich davon zieht sich eine weitere Diagonale durchs Land: vom Rheintal in Baden-Württemberg sowie einem Großteil von Rheinland-Pfalz und dem Saarland bis Schleswig-Holstein mit  $2$  bis  $3^{\circ}\text{C}$ . Die wärmsten Gebiete mit einer mittleren monatlichen Maximaltemperatur von  $3$  bis  $5^{\circ}\text{C}$  sind punktuelle Ausschnitte im Rheintal, wie z. B. Kehl, sowie die westlichen Teile Nordrhein-Westfalens, Niedersachsens und Schleswig-Holsteins. Bei den letzten beiden macht sich der Einfluss des mildereren Küstenklimas bemerkbar.

- Februar

Auch im Februar (Karte 4, Anhang 2) zeigt sich die Temperaturverteilung in Diagonalen, die von Südosten nach Nordwesten wärmer werden. Es fallen dabei allerdings wichtige Veränderungen auf. Erstens wird die wärmste Diagonale im Rheintal ( $5$  bis  $6^{\circ}\text{C}$ ) jetzt umrahmt von kühleren Gebieten ( $4$  bis  $5^{\circ}\text{C}$ ). Zweitens zieht sie sich nicht wie im Januar auch an der Nordseeküste entlang, sondern knickt, dem Rhein folgend, nach Westen ab. Drittens zeigen sich hier

ausschließlich unmittelbar am Rhein punktuell die wärmsten Gebiete, deren durchschnittliche Maximaltemperatur über 6° C liegt.

- März

Im März (Karte 5, Anhang 2) wird der diagonale Temperaturgradient zum Längsgradienten, wobei die Temperatur von Osten nach Westen zunimmt. Innerhalb dieser Aufteilung entstehen wärmere Ausläufer, z. B. mit 5 bis 6° C um Regensburg oder Berlin. Noch deutlicher als im Februar schält sich der Rhein im Süden und punktuell bis Duisburg als wärmstes Gebiet (7 bis 8° C) heraus. Kehl zeigt sich als einziges Gebiet mit einer durchschnittlichen Maximaltemperatur von 8,2° C als wärmste Zone.

- April

Im April (Karte 6, Anhang 2) ändert sich das Bild: Die kühlsste Zone mit 8 bis 10° C zieht sich, von einem wärmeren Ausläufer in Bayern unterbrochen, von Schleswig-Holstein über Thüringen bis zur südlichen Grenze Deutschlands. Von dort aus werden die Temperaturen nach Osten und nach Westen in zwei Abstufungen wärmer. Die wärmsten Gebiete mit 11 bis 12,5° C liegen nun nicht nur am Rhein, sondern auch in Berlin und Brandenburg, um Dresden, Magdeburg, Leipzig und in der Nähe von Regensburg. Über 12,5° C gibt es nur einzelne kleine Regionen, auf die wegen der besonderen Bedeutung dieser Temperatur als Grenzwert für das Vorkommen von bestimmten *Culicoides*-Arten in Kapitel 6.1.1.2 nochmals genauer eingegangen wird.

- Mai

Im Mai (Karte 7, Anhang 2) herrscht in großen Teilen Deutschlands eine durchschnittliche Maximaltemperatur von 12,5 bis 16° C vor. Um Berlin, Dresden und im Rheintal liegen die Temperaturen bei 16 bis 17° C, einzig punktuell im Rheintal gibt es wieder höhere Temperaturen zwischen 17 und 18° C. Durchschnittliche Maximaltemperaturen über 18° C werden im Mai 2000 nicht erreicht.

- Juni

Im Juni (Karte 8, Anhang 2) ändert sich die Temperaturaufteilung erneut. Hier wird ein Nord-Süd-Gradient mit ansteigender Temperatur deutlich. Dabei ist die Aufteilung dreiecksförmig: von der Küste zur Mitte Deutschlands erstreckt sich mit 12,5 bis 17° C der kühlere Teil. Zu den Randgebieten hin wird es wärmer (17 bis 18° C). Abermals stechen als wärmste Zonen mit 18 bis 20° C Berlin, das Rheintal und diesmal auch Teile Sachsens und Bayerns hervor. Wie in den anderen Monaten führt Kehl mit 21° C durchschnittlicher Maximaltemperatur die Wärmetabelle an.

- Juli

Der Juli (Karte 9, Anhang 2) bleibt durchweg kühler als der Juni. In großen Teilen Deutschlands liegt die durchschnittliche Maximaltemperatur bei 12,5 bis 16° C. Nur in Berlin und im Rheintal ist es mit 17 bis 18° C wärmer. Wieder ist es in Kehl am wärmsten (18,4° C durchschnittliche Maximaltemperatur).

- August

Der August (Karte 10, Anhang 2) zeigt Temperaturen wie der Juni: Kühler an der Küste bis zur Mitte Deutschlands (16 bis 17° C), zu den Randgebieten hin immer wärmer werdend (17 bis 20° C). Im Unterschied zum Juni sind die Temperaturen höher, zudem hebt sich im August das Rheintal mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen von 20 bis 22° C vom Rest Deutschlands ab.

- September

Im September (Karte 11, Anhang 2) liegen die Temperaturen im Großteil Deutschlands bei 12,5 bis 15° C. Nur im Westen des Landes entlang des Rheins gibt es mit 15 bis 16,5° C höhere durchschnittliche Maximaltemperaturen, die umso höher werden, je näher sie am Rhein liegen. Punktuell liegen am Rhein Orte mit einer Temperatur über 16,5° C.

- Oktober

In weiten Teilen Deutschlands beträgt die durchschnittliche Maximaltemperatur im Oktober (Karte 12, Anhang 2) 8 bis 11° C. Teile der Küstenregionen, der westliche Teil Nordrhein-Westfalens, Berlin, Brandenburg, Teile Sachsens und Mecklenburg-Vorpommerns sowie das Rheintal sind mit 11 bis 12,5° C etwas wärmer. Darüber liegen die durchschnittlichen Maximaltemperaturen nur an wenigen Punkten, die wegen ihrer Bedeutung für das Vorkommen von *Culicoides*-Arten in Kapitel 6.1.1.2 genauer besprochen werden.

- November

Im November (Karte 13, Anhang 2) herrschen im Südosten bis zur Mitte Deutschlands die kühlestern Temperaturen mit 0 bis 6° C vor. Zum Norden hin steigen die Temperaturen auf 6 bis 7° C, nach Westen und Nordwesten auf 7 bis 8° C. Darüber liegen die Temperaturen nur im westlichen Nordrhein-Westfalen an Rhein und Ruhr und in kleineren Gebieten am südlicheren Teil des Rheins.

- Dezember

Der Temperaturgradient steigt im Dezember (Karte 14, Anhang 2) wieder von Südosten nach Westen an. So steigen die Temperaturen erst im westlichen Drittel Deutschlands auf durch-

schnittliche Maximalwerte von 4 bis 6° C an, die höheren Temperaturen befinden sich wieder in Rheinnähe, mit punktuell höchsten Temperaturen von 6 bis 8° C.

#### 6.1.1.2 Entscheidungsfragen

Mit der Funktion „Map Query“ des Programms „ArcView“ ist es möglich, Fragen, die mit wahr oder falsch beantwortet werden können, zu bearbeiten.

Die Frage, in welchen Monaten die durchschnittlichen Maximaltemperaturen größer oder gleich 12,5° C waren, färbt die positiven Gebiete ein, die negativen bleiben unverändert. Auf die Bedeutung dieser Temperatur für das Vorkommen von *Culicoides* spp. wurde in Kapitel 2.6.4 hingewiesen. Es zeigt sich, dass diese Temperaturen nur in den Monaten April bis Oktober 2000 vertreten sind. In den Randmonaten sind nur wenige Gebiete betroffen: im April nur ein kleiner Bereich um Kehl und ein Bereich um Leverkusen, im Oktober Kehl und ein Bereich in Berlin. In den dazwischenliegenden Monaten zeigt sich bis auf die höheren Lagen fast flächendeckend eine eingefärbte Fläche. Auf Karte 15 (Anhang 2), sind die Orte, in denen auch im April und im Oktober durchschnittliche Maximaltemperaturen über 12,5° C herrschen, eingekreist. Es zeigt sich, dass nur in Kehl und Umgebung in sieben Monaten im Jahr 2000 eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  herrscht. Allerdings ist es möglich, dass z. B. im Rheintal noch mehr Orte mit dieser Temperatur vorkommen, die erst durch detailliertere Karten auffällig werden.

#### 6.1.1.3 Addition der Karten

Um einen Überblick darüber zu bekommen, welches die wärmsten Gebiete in Deutschland sind, wurden alle Karten mit der Funktion „Map Calculator“ in „ArcView“, wie unter Kapitel 5.5 beschrieben, addiert und anschließend die arithmetischen Mittelwerte gebildet. In diesem ersten Schritt ging es um eine Fokussierung auf die wärmeren Gebiete in Deutschland. Daher wurden die Temperaturen der Karten vom gesamten Jahr addiert und nicht nur die Monate, in denen die durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  betrug. Nach dieser Erstausswahl konnten wärmere Zonen genauer beleuchtet werden (Karte 16 und 17, Anhang 2).

#### 6.1.1.4 Wärmekarte Deutschland – Einteilung in Zonen

Nach Darstellung der durchschnittlichen Jahresmaximaltemperaturen ist es möglich, Deutschland in Gebiete aufzuteilen (Karte 20, Anhang 2).

Es entstehen drei Zonen:

Zone 1: Diese Gebiete zeichnen sich dadurch aus, dass sie im Jahr 2000 die höchsten durchschnittlichen monatlichen Maximaltemperaturen mit Werten zwischen 11,8 und 12,8° C aufwiesen. Spitzenreiter mit einer durchschnittlichen Jahresmaximaltemperatur von 12,8° C ist Kehl (Karte 17, Anhang 2). Dies ist zudem der einzige Ort, in dem auch in den Monaten April und Oktober durchschnittliche Maximaltemperaturen  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  vorherrschen (Karte 15, Anhang 2).

Zone 2: In diesen Gebieten liegt die durchschnittliche monatliche Maximaltemperatur im Jahr 2000 etwas niedriger, zwischen 11 und 11,8° C (Karte 16, Anhang 2).

Zone 3: In diesen Gebieten liegen die durchschnittlichen monatlichen Maximaltemperaturen über das Jahr 2000 gesehen unter 11° C (Karte 16, Anhang 2).

Die Zonen 1 und 2 sind als Postleitzahlbezirke in Tabelle 13 (Anhang 1) sowie in Karte 20 (Anhang 2) einzusehen. Zone 3 erstreckt sich über das ganze restliche Bundesgebiet.

### 6.1.2 Höhenstufen

In Abbildung 5 (Anhang 3) sind die Orte der Wärmezonen 1 (entspricht den Zonen 1 und 2 der Übersichtskarte [Karte 20, Anhang 2] und Zone A der Detailkarte [Karte 24, Anhang 2]) und 0 (entspricht den restlichen Orten) auf ein Diagramm aufgetragen. Es zeigt sich, dass die Zugehörigkeit zu den Wärmezonen insofern mit den Höhenstufen zusammenhängt, als dass die Orte der zusammengefassten Zone 1 sich ausschließlich in einer Höhe bis zu 350 m ü. N.N. befinden. Die Orte der Zone 0 sind unabhängig von ihrer Höhe.

### 6.1.3 Viehdichte

Die Farbeinteilung auf Karte 2 (Anhang 2) erfolgte zum einen auf Basis des in Kapitel 2.6.5 dargelegten Schrifttums, das eine Rinderdichte von 17,5 Rindern pro km<sup>2</sup> als hoch bezeichnet, weil diese Viehdichte einen Fortbestand des BTV über mehrere Jahre auch bei durchschnittlichen Maximaltemperaturen zwischen 12,5 und 18° C möglich macht. So wurde auf der Karte alles unter einem Besatz von 17 Rindern pro km<sup>2</sup> als „geringe Rinderdichte“ bezeichnet. Die weitere Einteilung (17 bis 80 Rinder pro km<sup>2</sup> entsprechen einer hohen Rinderdichte, 80 bis 172 Rinder pro km<sup>2</sup> entsprechen einer sehr hohen Rinderdichte) erfolgte nur aufgrund der Aufteilung des verbleibenden Restes mit dem Höchstwert von 171,64

Rindern pro km<sup>2</sup>. In wenigen Kreisen (auf der Karte weiß dargestellt) gab es über die Rinderdichte keine Angaben.

Die Karte zeigt, dass in Deutschland zum größten Teil eine hohe Rinderdichte besteht. Eine sehr hohe Besatzdichte findet man in Teilen von Bayern, Niedersachsen (küstennah), Schleswig-Holstein (auch hier küstennah) und Nordrhein-Westfalen. Eine geringe Dichte im Rindervorkommen zeigt die Karte in Sachsen-Anhalt, dort angrenzenden Teilen von Niedersachsen und teilweise am Rhein.

## 6.2 Detailkarten

Es wurden Detailkarten über das Gebiet der Bundesländer Baden-Württemberg, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland und Nordrhein-Westfalen erstellt (Karte 18, 19, 22, 23, 24, 27 und 28, Anhang 2). Sie beziehen sich auf das Jahr 2000. Weitere Detailkarten über die Jahre 1990 bis 1999 wurden über das Gebiet von Baden-Württemberg mit Teilen der angrenzenden Bundesländer Hessen, Rheinland-Pfalz und dem Saarland angefertigt. Zwei dieser Karten sind in Anhang 2 abgedruckt (Karte 25 und 26).

### 6.2.1 Spezifizierung der Wärmezonen

In der Detailkarte über die durchschnittlichen Maximaltemperaturen für das Jahr 2000 (Karte 23, Anhang 2) wurden in der Legende zwei weitere Farben im Vergleich zur Deutschlandkarte (Karte 16, Anhang 2) hinzugefügt, da diese an einigen neu hinzugekommenen Orten höher lagen als in der Übersichtskarte. So konnte eine Zone A festgelegt werden, die wieder durch die entsprechenden Postleitzahlbezirke bezeichnet wurde (Karte 24, Anhang 2). Diese Bezirke sind auch in Tabelle 17 (Anhang 1) einzusehen. Die durchschnittliche Maximaltemperatur lag in dieser Zone zwischen 14 und 17° C. Die Interpolation von Zone A zu den Seiten hin wird durch mehrere Faktoren verzerrt und entspricht nicht der Realität:

1. Es wurden zu wenige Stationen insgesamt einbezogen, zu den Rändern hin haben die Orte wenige Nachbarn, so dass die Interpolation an den Seiten ungenau wird.
2. Die Höhe der Landschaft wurde vernachlässigt. Da Zone A vom Pfälzer Wald, Odenwald, Spessart, Schwarzwald und der Schwäbischen Alb umrahmt wird, kann man davon aus-



gehen, dass die Gebiete zu allen Seiten der Zone A im Jahresdurchschnitt kälter sind als auf der Karte ersichtlich.

Dementsprechend wurde auf weitere Zonen verzichtet, um eine möglichst genaue Aussage treffen zu können. Da im Bereich der Zone A viele Stationen liegen, dürfte die Darstellung hier realistisch sein. Um diese Zone wurde eine Linie gezogen. Die neuen Raster über die Jahre 1990 bis 1999 wurden dann kleinmaschig über diesen Bereich erstellt.

#### 6.2.1.1 Entscheidungsfragen

Wie in der Übersichtskarte (Karte 15, Anhang 2) ist es auch in der Detailkarte möglich, die Frage zu stellen, wo im April bzw. Oktober 2000 eine durchschnittliche Maximaltemperatur über  $12,5^{\circ}\text{C}$  vorherrscht. Es zeigt sich, dass dies in der gesamten Zone A und in Kehl der Fall ist. Das bedeutet, dass dort eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  in sieben Monaten im Jahr gegeben ist.

#### 6.2.1.2 Tägliche Maximaltemperaturen / Diagramme

Die täglichen Maximaltemperaturen der Orte der Zone 1 aus der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2) sowie der Zone A aus der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) im Jahr 2000 wurden in Diagrammen dargestellt (Abb. 6 und 7, Anhang 3). Dabei wird deutlich, dass im Jahr 2000 keiner der Orte aus der Übersichtskarte eine Temperatur von  $33^{\circ}\text{C}$  aufweist. Die Zeitspanne, in der die täglichen Maximaltemperaturen in den Zone-1-Orten aus der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2)  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  sind, ist im Vergleich zu den Zone-A-Orten aus der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) kürzer. Dort beträgt sie sieben Monate (s. Kap. 6.2.1.1). Auch verläuft hier die Temperaturkurve insgesamt höher, in Freiburg z. B. liegen die Maximaltemperaturen im Juni 2000 für drei Tage über  $33^{\circ}\text{C}$ . Aus den Diagrammen kann man ersehen, dass beispielsweise in Freiburg auch in den Monaten, deren durchschnittliche Maximalwerte unter  $12,5^{\circ}\text{C}$  liegen (etwa im Februar und März), Maximaltemperaturen bis zu  $20^{\circ}\text{C}$  erreicht werden.

#### 6.2.2 Viehdichte im Detail

Karte 19 (Anhang 2) stellt die Viehdichten auf der Detailkarte im Jahr 2000 dar. Die überlagerten Postleitzahlgebiete, die die Zone A darstellen, lassen erkennen, dass die Viehdichte in den warmen Gebieten westlich des Rheins eher im Bereich der geringen Rinderdichte (0 bis

17 Rinder pro km<sup>2</sup>) liegt, östlich des Rheins hauptsächlich im Bereich der hohen Rinderdichte (17 bis 80 Rinder pro km<sup>2</sup>).

### 6.2.3 Windstärken

Die Windstärken von neun Orten wurden ebenfalls als Diagramme aufgetragen (Abb. 8, Anhang 3). Dabei wird deutlich, an wie vielen Tagen von April bis Oktober 2000 eine Windstärke von über 2 m/s erreicht wurde. Die Gesamtzahl der untersuchten Tage beträgt 214. Die Monate November bis April wurden bereits aufgrund ihrer Temperaturverhältnisse aus dieser weiterführenden Untersuchung ausgeschlossen. Für die Stadt Freiburg wurde zusätzlich ein Diagramm mit der chronologischen Abfolge der Tage erstellt (Abb. 8, Anhang 3).

Die Orte Offenburg, Vogtsburg, Waghäusel, Worms und Kehl erscheinen mit vielen wenig windigen Tagen als geeignetes Terrain für *Culicoides*. Im mittleren Bereich rangiert Freiburg. Windiger ist es im Jahr 2000 in Duisburg, Karlsruhe und Leverkusen. Diese Windverhältnisse begründen sich möglicherweise durch die geographischen Begebenheiten. Orte, die von Gebirgen umrahmt sind, wie z. B. Offenburg, sind weniger dem Wind ausgesetzt als Orte, die auf der Ebene liegen, wie z. B. Leverkusen. Diese Erklärung kann allerdings nicht für alle Stationen herangezogen werden.

### 6.2.4 Jahresniederschlag

In Karte 22 (Anhang 2) sind die Jahresniederschlagsmengen im Jahr 2000 als unterschiedlich große Punkte auf der Karte dargestellt. Die Niederschlagsmengen reichen von 700 bis 1050 mm pro Jahr. Da für Worms (Id. 5692) die Niederschlagsmenge im Monat Juni nicht erhoben wurde, konnte es nicht auf der Karte eingetragen werden. Die Addition der anderen Monate ergab eine Niederschlagsmenge von mehr als 733,6 mm im Jahr 2000 in Worms.

In Tabelle 16 (Anhang 1) ist die monatliche Aufteilung der Niederschläge einzusehen. Es ist eine relativ gleichmäßige Verteilung über das ganze Jahr gegeben. Im Juli 2000 gab es hohe Niederschlagsmengen.

## 6.2.5 Temperaturverlauf über zehn Jahre

### 6.2.5.1 Vergleiche mit dem Jahr 2000 / Monate mit durchschnittlicher Maximaltemperatur größer oder gleich $12,5^{\circ}\text{C}$

Um eine Bewertung der Ergebnisse des Jahres 2000 vornehmen zu können, wurde überprüft, ob diese sich in eine Übersicht von zehn Jahren einfügen. Verglichen wurden dazu die Jahresdurchschnitte, die Monatswerte und die Anzahl der Monate mit einer durchschnittlichen Maximaltemperatur  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$ .

- 1990

Im Jahresdurchschnitt befindet sich der untersuchte Bereich komplett innerhalb der wärmsten Zone des Jahres 2000, allerdings in einem etwas engeren Temperaturrahmen, von  $15$  bis  $16,8^{\circ}\text{C}$  (vgl. Jahr 2000:  $14$  bis  $17^{\circ}\text{C}$ ). Außer den Monaten Juni, September, November und Dezember sind alle Monate wärmer als im Jahr 2000.

Im Jahr 1990 herrscht in vielen Orten neun Monate lang eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  vor (s. Karte 25, Anhang 2).

- 1991

Auch dieses Jahr liegt im Jahresdurchschnitt im wärmsten Bereich, ist mit  $14,2$  bis  $15,7^{\circ}\text{C}$  jedoch etwas kühler als 1990. Im Vergleich zu 2000 sind die Monate März, Juli, August und September wärmer, der Januar ist ähnlich temperiert, die restlichen Monate haben eine kältere durchschnittliche Maximaltemperatur.

An allen eingebrachten Stationen beträgt die Temperatur für acht Monate im Jahr  $12,5^{\circ}\text{C}$  oder mehr.

- 1992

Mit  $15$  bis  $16,5^{\circ}\text{C}$  liegt der Jahresdurchschnitt auch hier innerhalb des wärmsten Bereiches von 2000. Bis auf die Monate Juli und August sind die restlichen Monate geringfügig kühler als im Jahr 2000.

Lediglich Karlsruhe und Umgebung weisen für sieben Monate im Jahr eine durchschnittliche Maximaltemperatur von  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  auf, für den restlichen Bereich gilt dies nur für sechs Monate.

- 1993

In diesem Jahr liegt der Durchschnitt mit 14 bis 15,5° C am unteren Ende des wärmsten Bereichs. 1993 fallen Januar, April und Juli etwas wärmer aus als im Jahr 2000, der Rest des Jahres ist ähnlich temperiert oder kälter.

Nur ein Teil der Orte kann für sieben Monate im Jahr durchschnittliche Maximaltemperaturen  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  aufweisen (Karte 26, Anhang 2).

- 1994

Der Jahresdurchschnitt liegt mit 15,5 bis 17° C am oberen Ende der Skala des wärmsten Bereichs im Jahr 2000. Trotzdem sind die Monate mit Ausnahme von Januar, März und Juli kälter als 2000.

Durch den warmen März weist das Jahr 1994 an allen Stationen außer Eberbach acht Monate lang eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  auf.

- 1995

Auch hier befindet sich die Durchschnittstemperatur des Jahres mit 14,5 bis 16° C im wärmsten Bereich. 1995 fällt durch einen vergleichsweise warmen Februar, Juli und Oktober auf. Die anderen Monate sind gegenüber 2000 kälter oder ähnlich temperiert.

An allen Stationen ist die durchschnittliche Maximaltemperatur für sieben Monate im Jahr  $\geq 12,5^\circ \text{C}$ .

- 1996

1996 war ein im Jahresdurchschnitt kälteres Jahr. Nur Karlsruhe, Offenburg, Kehl, Freiburg, Vogtsburg und deren Umgebung befinden sich in der wärmsten Zone (hier 14 bis 14,5° C), die restlichen Gebiete in der nächstkühleren Zone mit 13 bis 14° C. Dies spiegelt sich auch in den monatlichen Maximaltemperaturen wider. Außer dem Juli sind alle Monate kälter als im Jahr 2000.

Dennoch erreicht die durchschnittliche Maximaltemperatur an allen Stationen für sieben Monate im Jahr 12,5° C oder mehr.

- 1997

Mit 15 bis 16,5° C liegt der Durchschnitt in diesem Jahr im wärmsten Bereich. Die Monate Februar, März, Juli, August und September sind wärmer als im Vergleichsjahr.

Durch den warmen März ergibt sich für alle Stationen eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  für acht Monate im Jahr.

- 1998

Im Jahresdurchschnitt werden 14,5 bis 16,5° C erreicht, was im wärmsten Bereich liegt. Im Vergleich sind der Januar, Februar, Juli und August etwas wärmer, die restlichen Monate kühler oder denen des Jahres 2000 entsprechend.

An allen Stationen herrscht für sieben Monate im Jahr eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$ .

- 1999

Auch hier liegt der Durchschnitt mit 14,5 bis 16,5° C in der wärmsten Zone. Außer den Monaten Januar, Juli und September erreichen die Monatswerte nicht die des Jahres 2000.

Für sieben Monate im Jahr ist die durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C}$ .

#### 6.2.5.2 Wärmste Monate

Für die Orte und Monate, die in den Karten mit hohen durchschnittlichen monatlichen Maximalwerten auffielen, wurden Diagramme erstellt (Abb. 9 bis 16, Anhang 3). Aus diesen Diagrammen ist zu ersehen, dass es in einigen Jahren mehrere aufeinanderfolgende Tage mit Maximaltemperaturen über 33° C gab. Werden nur die Tage mit Temperaturen über 33° C gezählt, wo mindestens zwei Tage mit diesen Temperaturen aufeinanderfolgen (s. Kap. 3.7.1), ergibt sich folgende Rangliste (der Juni 2000 wurde nicht einbezogen, da hier die Werte nur für einen Ort vorliegen): Karlsruhe führt mit 33 Tagen, darauf folgt Freiburg mit 18 Tagen. Kehl und Waghäusel weisen 13 dieser Tage auf, Vogtsburg nur neun. Auch herrscht diese Temperatur in Karlsruhe in einem Fall an fünf aufeinanderfolgenden Tagen, in den übrigen Orten sind es höchstens vier. Auf die fünf Orte verteilt weist der August 1990 (Abb. 9, Anhang 3) mit insgesamt 21 Tagen über 33° C die meisten Tage mit dieser Temperatur auf. Insgesamt zeigt sich, dass in den Monaten Juli oder August, gelegentlich auch im Juni, mehrere aufeinanderfolgende Tage mit Temperaturen über 33° C in der Zone A der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) keine Seltenheit sind.

### 6.3 Simulation einer globalen Erwärmung

#### 6.3.1 Darstellung der möglichen Erwärmung deutschlandweit

Um einen groben Überblick über die Situation einer Erwärmung deutschlandweit zu bekommen, wurden zur durchschnittlichen Jahresmaximaltemperatur des Jahres 2000 mit Hilfe von

„Map Calculator“ auf jeden Punkt des Rasters  $2^{\circ}\text{C}$  addiert (Karte 21, Anhang 2). Dadurch verschieben sich die Zonen der Temperatureinteilung von Kapitel 6.1.1.4 beträchtlich. Fast ganz Deutschland läge mindestens in Zone 2, zu einem Teil auch in Zone 1. Eine weitere, noch wärmere Zone entstünde, die sich sogar stellenweise über die ursprünglichen Zonen 1 und 2 hinaus ausdehnen würde. Dies bedeutet, dass sich die Situation in Deutschland grundlegend verändern würde. Was das für das Vorkommen von *Culicoides* und somit auch für die Möglichkeiten der Verbreitung von BTV bedeuten würde, muss im Detail genauer untersucht werden (s. Kapitel 6.3.2 und 7.3).

### 6.3.2 Darstellung der möglichen Erwärmung auf der Detailkarte

Auch in dieser Darstellung wurden auf jeden Punkt des Rasters  $2^{\circ}\text{C}$  addiert, wiederum zur durchschnittlichen Jahresmaximaltemperatur des Jahres 2000. In dieser Detailkarte (Karte 27, Anhang 2) werden somit große Teile Baden-Württembergs zu Wärmezone A aus der Einteilung der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) und die restlichen dargestellten Gebiete, bis auf die Höhenlagen und deren Umgebung, zu Zone 1 aus der Einteilung der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2). Die durchschnittliche Maximaltemperatur steigt dadurch an einigen Orten auf Werte von bis zu  $19^{\circ}\text{C}$  an. Zu den wärmsten Orten gehören dann Bretten, Emmendingen und Freiburg. Für diese Orte wurden Diagramme erstellt, die die Veränderung über das Jahr (Abb. 17, Anhang 3) und die Veränderungen im wärmsten Monat (Abb. 18, Anhang 3) zeigen. Durch eine Anhebung der Temperaturen um  $2^{\circ}\text{C}$  ergeben sich gravierende Veränderungen. Zum einen verlängert sich die Zeitspanne, in der die durchschnittliche Maximaltemperatur über  $12,5^{\circ}\text{C}$  liegt. In Freiburg z. B. würde sie dadurch knapp zehn Monate betragen. Zum anderen gäbe es dann mehr Tage mit Temperaturen über  $33^{\circ}\text{C}$ . Die Anzahl erhöht sich z. B. in Bretten von null auf drei Tage, die in Folge eine tägliche Maximaltemperatur von mehr als  $33^{\circ}\text{C}$  aufweisen.

## 7 Diskussion

### 7.1 Karteninterpretation / Definition der Risikozonen

#### 7.1.1 Auswirkung der Maximaltemperaturen auf das Vorkommen und die Vektorkompetenz von *Culicoides* spp.

##### 7.1.1.1 *Culicoides imicola*

Die Orte mit einem wahrscheinlichen Vorkommen von *C. imicola* werden von Wittmann (2000) mit drei Temperaturbedingungen beschrieben (s. Kap. 3.8). Bei Anwendung der von ihr gefundenen Kriterien bestätigt sich ihre Vermutung, dass Deutschland bisher kein geeignetes Habitat für *C. imicola* ist. Von den untersuchten Orten erfüllt keiner die Bedingung einer maximalen monatlichen Höchsttemperatur zwischen 31 und 32,6° C. Karlsruhe liegt allerdings mit einer maximalen monatlichen Höchsttemperatur von 30° C im Juli 1994 nahe am geforderten Wert. Im gleichen Monat liegen die Orte Offenburg, Freiburg, Worms, Karlsruhe und Waghäusel bei Werten  $\geq 29^\circ \text{C}$ . An allen diesen Orten lag die durchschnittliche Maximaltemperatur 1994 acht Monate lang bei 12,5° C oder mehr. In der Untersuchung von Wittmann (2000) war aber eine *Durchschnittstemperatur*  $\geq 12,5^\circ \text{C}$  in acht bis neun Monaten im Jahr Bedingung. Ob diese erfüllt würde, wurde in dieser Arbeit nicht überprüft, ist aber aufgrund der anderen Ergebnisse unwahrscheinlich. Ebenso wurden die minimalen Tiefsttemperaturen nicht angefordert. Dennoch kann man davon ausgehen, dass Deutschland als Habitat für *C. imicola* nicht geeignet ist, falls sich das Klima nicht erwärmt oder eine Anpassung dieser Art an das kältere Klima stattfindet, wie von Gibbs und Greiner (1994) befürchtet. Somit bestätigt dies die Auffassung von Wittmann (s. Kap. 3.8).

Um die Möglichkeit einer Überwinterung des BTV in Deutschland zu evaluieren, wurden am Beispiel Freiburg zu den täglichen Maximaltemperaturen des Jahres 2000 2° C geschätzte globale Klimaerwärmung addiert und überprüft, ob die Bedingungen von Sellers und Mellor (1993, s. Kap. 2.6.4) erfüllt würden. Dies war nur für eine der vier Bedingungen der Fall:

1. Zehn Monate haben eine durchschnittliche Maximaltemperatur  $\geq 12,5^\circ \text{C} \Rightarrow$  Bedingung nicht erfüllt.
2. 66,9 % der Tageshöchsttemperaturen sind  $\geq 13^\circ \text{C} \Rightarrow$  Bedingung erfüllt (von 366 Tagen waren 245 Tage  $\geq 13^\circ \text{C}$ ; dies entspricht 66,9 %)

3. Der WDDV ist im Januar 0,15, in allen anderen Monaten größer 1,35  $\Rightarrow$  Bedingung nicht erfüllt.
4. Die Maximaltemperatur beträgt an 86 Tagen im Jahr weniger als 13° C; im Januar an 24 aufeinanderfolgenden Tagen, im Februar an elf aufeinanderfolgenden Tagen  $\Rightarrow$  Bedingung nicht erfüllt.

Dennoch sind die gegebenen Temperaturen nicht weit von den gefundenen Bedingungen entfernt. In einem anderen Jahr, z. B. 1990, würden die Bedingungen bei Anrechnung von 2° C geschätzter Klimaerwärmung möglicherweise erfüllt. Nach Hughes (2000) führt eine Klimaerwärmung um 2° C zu einer Nordverschiebung der Verbreitungsgrenzen von Insektenarten von ungefähr 200 km – das würde im Fall von *C. imicola* höchstens ein Vorrücken bis zum 44. Breitengrad bedeuten, Deutschland (beginnend ca. am 48. Breitengrad) aber nicht mit einschließen. Die nördlichsten Fänge von *C. imicola* waren auf Korsika (42. Breitengrad). Bei den Ausbrüchen von BTD, die noch weiter im Norden lagen, z. B. im ehemaligen Jugoslawien, wurde *C. imicola* bisher nicht nachgewiesen, die Umweltbedingungen würden jedoch ein Vorkommen erlauben (Wittmann et al., 2001). Ein kurzfristiges Vorkommen von *C. imicola* in Deutschland für einige Monate nach Einfuhr z. B. mit dem Flugzeug oder einem Viehtransport ist damit aber nicht ausgeschlossen. Des Weiteren würde nach Sellers und Mellor (1993) eine durchschnittliche Maximaltemperatur < 12,5° C an fünf aufeinanderfolgenden Monaten ein Überwintern des BTV unwahrscheinlich machen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass in den Jahren 1990, 1991, 1994 und 1997 durchschnittliche Maximaltemperaturen  $\geq$  12,5° C in neun bzw. acht aufeinanderfolgenden Monaten gegeben waren. Auch liegt die nördliche Grenze des Vorkommens von BTD in Amerika nahe dem Isotherm, der Gebiete mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq$  12,5° C für sieben Monate im Jahr einschließt. Das Überdauern von kälteren Phasen im Blut von Rindern oder Wildwiederkäuern bietet sich an. Allerdings ist bisher der Virusnachweis längstenfalls für eine Dauer von 100 Tagen gelungen (MacLachlan et al., 1992; Barratt-Boyes und MacLachlan, 1994; MacLachlan et al., 1994), was nur eine Phase von ca. dreieinhalb Monaten überbrückt. Auch das Unterbrechen der Virusentwicklung in kälteren Phasen und die Wiederaufnahme derselben bei Anstieg der Temperaturen ist nur nach einem begrenzten Zeitraum (ca. 28 Tage) nachgewiesen worden (Wittmann, 2000). Eine Überwinterung des BTV in Deutschland ist demnach zum momentanen Zeitpunkt als unwahrscheinlich zu erachten. Ein weiteres Verfolgen der Temperaturentwicklung erscheint dennoch sinnvoll.



### 7.1.1.2 *Culicoides nubeculosus*

*C. nubeculosus* wird hier als Modell für andere palaearktische Spezies herangezogen (z. B. *C. pulicaris* und *C. obsoletus*), da über diese wenige Daten, das Habitat betreffend, zur Verfügung stehen. Der geographischen Verteilung dieser Arten nach ist dies nach Wittmann (2000) möglich. Anhand des Ortes Freiburg hauptsächlich im Jahr 2000 wurden die von Wittmann (2000, s. Kap. 3.7.1) im Labor gefundenen Untersuchungsergebnisse für *C. nubeculosus* mit den tatsächlich vorherrschenden klimatischen Bedingungen verglichen.

Außer im Januar sind die durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq 9,9^\circ\text{C}$ , was eine Virusreplikation möglich macht. Eine Entwicklung von *C. nubeculosus* ist etwa im gleichen Zeitraum möglich, da sie ab  $8,1^\circ\text{C}$  stattfinden kann. Allerdings ist die Entwicklungsgeschwindigkeit bei geringen Temperaturen niedrig. Zudem entstammen die Ergebnisse von Wittmann (2000) dem Labor, d. h. es bestanden gleichmäßige Temperaturen. Im Feld schwanken die Temperaturen. Um vergleichbare Auswirkungen zu haben, sollten die bestehenden Maximaltemperaturen höher sein als die gleichmäßigen Labortemperaturen. Die optimalen Temperaturen für *C. nubeculosus* von  $25$  bis  $30^\circ\text{C}$  findet man in Freiburg im Jahr 2000 von Ende April bis Ende September. In dieser Zeit wird die Entwicklung trotz Temperaturschwankungen schneller vonstatten gehen. Die erhöhten Abundanzen bei  $10,1$  bis  $15^\circ\text{C}$  (Olbrich, 1987) im Freiland (Fänge am Rind) hängen sicherlich mit den Stechzeiten abends und frühmorgens zusammen und beziehen sich somit nicht auf die tägliche Maximaltemperatur. Im Labor fand der Schlupf der Imagos bei  $25$  bis  $30^\circ\text{C}$  nach ca. 21 bis 23,4 Tagen statt. In diesem Temperaturbereich war auch die Überlebensrate am höchsten. Eine Erhöhung der Vektorkompetenz von unter 3 auf über 10 % fand nach Wittmann (2000) bei Haltung der Gnitzen bei  $25$  bis  $30^\circ\text{C}$  mit einer Erhöhung der Temperatur im Puppenstadium auf  $33^\circ\text{C}$  für 1,8 Tage statt. Bei  $35^\circ\text{C}$  stellte sie eine hohe Sterblichkeitsrate fest, vor allem der Larven (ca. 95 %). Um eine ähnliche Erhöhung der Vektorkompetenz zu bewirken, müssten die täglichen Maximaltemperaturen im Feld länger als 1,8 Tage in Folge höher als  $33^\circ\text{C}$  sein, da die Temperaturen hier wie gesagt nicht gleichmäßig sind. Beim Beispiel Freiburg im Jahr 2000 liegen die täglichen Maximalwerte vom 1. bis zum 19. Juni (18 Tage) zumeist zwischen  $25$  und  $30^\circ\text{C}$ . Darauf folgen drei Tage mit Maximaltemperaturen zwischen  $33$  und  $34,1^\circ\text{C}$  (Abb. 16, Anhang 3). Das bedeutet eine hohe Wahrscheinlichkeit, dass sich in dieser Zeit mehr kompetente *C. nubeculosus* entwickeln. Auch in anderen Orten sowie in anderen Monaten (Abb. 9 bis 15, Anhang 3) kann man sehen, dass bis zu fünf Tage in Folge mit Maximaltemperaturen über  $33^\circ\text{C}$  keine Seltenheit sind. In Kombination mit Massenangriffen, die bei dieser Spezies

vorkommen (Nielsen und Christensen, 1975), macht dies eine Übertragung des BTV durch *C. nubeculosus* in den wärmeren Gebieten Deutschlands zu bestimmten Jahreszeiten wahrscheinlich, nachdem eine Einfuhr des Virus, z. B. über infizierte Schafe oder Rinder, erfolgt ist. Ein Überwintern ist jedoch wegen der bei kühleren Temperaturen abnehmenden Menge kompetenter Vektoren in Kombination mit verlangsamten Entwicklungszeiten sowohl der Gnitzen als auch der Viren unwahrscheinlich. Demnach lassen die Untersuchungsergebnisse beim gegenwärtigen Stand der Dinge, also ohne eine globale Erwärmung oder Anpassung von Vektoren an kühlere Temperaturen, nicht befürchten, dass Teile Deutschlands Endemiegebiete für BTD werden. Wohl aber besteht die Möglichkeit von Epidemien, die in einer ungeschützten Population hohe Schäden anrichten können, auch wenn die Krankheit höchstwahrscheinlich im Herbst oder Winter des Ausbruchsjahres von selbst wieder aussterben würde. Trotz der Möglichkeit des verlängerten Lebens der Viren bei kälteren Temperaturen in den Gnitzen oder z. B. in Rindern während der verlängerten Virämiephase, ist es unwahrscheinlich, dass die Viren in Phasen von mehreren Monaten, in denen wenige kompetente Vektoren vorhanden sind, den Zyklus aufrechterhalten können.

Somit können Gebiete in Deutschland von der vierten Zone, in der BT noch nie aufgetreten ist, (Einteilung nach Gibbs und Greiner, 1994, s. Kap. 2.6.2), zur „incurive zone“ werden.

#### 7.1.1.3 *Culicoides*-Arten - allgemein

Allgemein lässt sich sagen, dass aufgrund der Temperaturabhängigkeit sowohl der Gnitzen- als auch der Virenentwicklung (die EIP verkürzt sich bei Anstieg der Temperatur) eine Übertragung des BTV erst ab einer Temperatur von ca. 20° C wahrscheinlich ist. Diese Überlegung ergibt sich aus folgenden Annahmen:

1. Die durchschnittliche Lebensdauer von *Culicoides* spp. beträgt 30 Tage (zehn bis 90) (Grant et al., 1967; Mellor et al., 2000).
2. Weibliche *Culicoides* stechen im Durchschnitt alle drei bis acht Tage (drei bis 14) (Birley und Boorman, 1982; Mullens und Holbrook, 1991; Mellor et al., 2000).
3. Auch nicht genannte Serotypen des BTV haben ähnliche EIPs wie in Tabelle 2 (s. Kap. 3.5.1.3).

Um eine Übertragung zu gewährleisten, müssen *Culicoides* mindestens zweimal stechen. In der Zeit zwischen den Blutmahlzeiten muss das Virus die EIP durchlaufen haben. Nach Tabelle 2 (s. Kap. 3.5.1.3) ist dies für BTV 10 und BTV 16 erst ab 20° C möglich.

In Freiburg waren diese Temperaturen vom 20. April bis zum 29. September 2000 gegeben. Der Vergleich mit den Anforderungen von *C. nubeculosus* (s. Kapitel 7.1.1.2) ergibt, dass

sich die speziellen Anforderungen dieser Art in die allgemeinen Voraussetzungen für ein Vorkommen von *Culicoides* spp. einbetten.

#### 7.1.1.4 Temperaturverlauf über zehn Jahre

Im Temperaturvergleich wich das Jahr 2000 kaum von den Jahren 1990 bis 1999 ab. Der Jahresdurchschnitt des untersuchten Bereiches ähnelte jeweils dem des Jahres 2000. Deutlich unterschieden sich die Jahre allerdings in der Verteilung der Temperaturen. So war z. B. das Jahr 1990, obwohl im Jahresdurchschnitt kühler als 2000, durch die Verteilung der Temperaturen für ein Vorkommen von *Culicoides* möglicherweise günstiger. Vor allem durch die warmen Monate Februar, März und Oktober bot 1990 eine längere Zeitspanne mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  für ein mögliches Vorkommen der Gniten. Zudem stiegen die Temperaturen im August an einigen Orten für mehrere Tage in Folge über  $33^{\circ}\text{C}$ . Für die Virusvermehrung dagegen zeigt sich das Jahr 2000 mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $> 20^{\circ}\text{C}$  von Mai bis September an mehr Orten als im Jahr 1990 in dieser Hinsicht günstiger für BTV. Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Jahresdurchschnitt, nach dem hier das Beispieljahr ausgewählt wurde, nicht so viel Bedeutung hat, wie die Verteilung der Temperaturen im Jahresverlauf. Die Unterschiede zwischen den Jahren 1990 bis 2000 sind jedoch nicht so gravierend, als dass das Jahr 2000 nicht repräsentativ wäre. Dennoch wäre in Folgearbeiten ein Vorgehen in umgekehrter Richtung zu empfehlen. Ein Überblick über zehn bis 30 Jahre mit monatlichen Mittelwerten kann dann Hinweis geben auf das Jahr, das mit Tageswerten genauer untersucht werden sollte.

#### 7.1.1.5 Gefährdete Orte – Parameter Temperatur

Als gefährdete Orte werden hier die Orte bezeichnet, die den Temperaturanforderungen, die in den vorhergehenden Abschnitten über die allgemeinen Anforderungen sowie die Anforderungen von *C. nubeculosus*, stellvertretend für andere heimische *Culicoides* spp., beschrieben wurden, entsprechen. Um einen Überblick über deren Rangfolge zu bekommen, wurden die Bedingungen „Monate mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  von 1990 bis 2000“ (s. Kap. 7.1.1.3) sowie „Monate mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  von 1990 bis 2000“ als Parameter für das gemäßigte Klima in eine Tabelle eingebracht. Zusätzlich wurden noch „Tage mit durchschnittlichen Maximaltemperaturen  $\geq 33^{\circ}\text{C}$  von 1990 bis 2000“ hinzugefügt und so eine Rangliste erstellt. Die Orte Emmendingen und Bergzabern, die im Jahr 2000 mit sieben Monaten  $\geq 12,5^{\circ}\text{C}$  und fünf Monaten  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  auch

in der wärmsten Zone liegen, können mangels Daten über die Jahre 1990 bis 1999 nicht verglichen werden. Es ist allerdings anzunehmen, dass sich die Temperatur in Emmendingen ähnlich wie in Freiburg, in Bergzabern ähnlich wie in Neustadt verhält. Herrenalb, das ebenfalls in Zone A der Detailkarte 2000 (Karte 24, Anhang 2) liegt, kann aus dem gleichen Grund nicht verglichen werden. Es zeigt sich, dass auch Orte, die vorher nicht in Zone A lagen, in der Rangliste der wärmsten Orte aufgeführt werden, namentlich Kehl, Offenburg, Vogtsburg, Waghäusel und Worms.

Tabelle 18: Wärmste Orte - Rangliste

<b>Ort</b>	<b>Rang- listenplatz</b>	<b>Monate mit durchschn. Maximaltemp. ≥ 20° C von 1990 bis 2000</b>	<b>Monate mit durchschn. Maximaltemp. ≥ 12,5° C von 1990 bis 2000</b>	<b>Tage mit durchschn. Maximaltemp. ≥ 33° C von 1990 bis 2000</b>
2522 – Karlsruhe	<b>1</b>	48	80	33
1443 – Freiburg	<b>1</b>	47	81	18
1602 – Gengenbach	<b>2</b>	46	80	k. A.
5275 – Waghäusel	<b>3</b>	45	80	13
3576 – Neustadt	<b>4</b>	45	79	k. A.
710 – Bretten	<b>4</b>	44	80	k. A.
257 - Baden-Baden	<b>4</b>	43	81	k. A.
2546 – Kehl	<b>4</b>	42	82	13
5250 – Vogtsburg	<b>5</b>	44	79	9
1093 – Eberbach	<b>6</b>	44	78	k. A.
3777 – Offenburg	<b>7</b>	42	79	k. A.
5692 – Worms	<b>8</b>	42	78	k. A.

### 7.1.2 Auswirkung der Viehdichte auf das Risiko

Die Rinderdichte wirkt sich auf die Epidemiologie von BTD aus. Niedrigere Temperaturen können durch höhere Viehdichten ausgeglichen werden (s. Kap. 2.6.5). Sellers und Mellor (1993) zeigen, dass ein Fortbestand des BTV über mehrere Jahre bei Temperaturen unter  $18^{\circ}\text{C}$  (zwischen  $12,5$  und  $18^{\circ}\text{C}$ ) nur bei einer Viehdichte über  $17,5$  Rinder pro  $\text{km}^2$  gesichert ist. Eine direkte Anwendbarkeit dieser Bedingung ist bei den momentanen klimatischen Verhältnissen nicht gegeben, wie in Kapitel 7.1.1.1 ausgeführt. Die dort genannte erste Bedingung (im kältesten Monat soll die durchschnittliche Maximaltemperatur größer oder gleich  $12,5^{\circ}\text{C}$  sein) ist bisher nicht erfüllt. Dennoch ist die Rinderdichte aus zwei Gründen interessant. Erstens: Wenn nach einer Klimaerwärmung die Bedingungen nach Sellers und Mellor (1993, s. Kap. 2.6.4) erfüllt würden, müsste man in Gebieten, in denen die Rinderdichte über 17 Tiere pro  $\text{km}^2$  beträgt, ein Überwintern des Virus befürchten. Die lange Virämiedauer bei Rindern (nachgewiesen bis 100 Tage [MacLachlan et al., 1992; Barratt-Boyes und MacLachlan, 1994; MacLachlan et al., 1994]) kann eine Zeit mit niedrigen Temperaturen und inaktiven Vektoren überbrücken. Zweitens: Rinder sind Teile des Zyklus des BTV zwischen Insekt und Säugetier. Somit sind Gebiete mit einer höheren Besatzdichte stärker gefährdet, wenn es zu einer Einfuhr des BTV käme.

Auf Karte 19 (Anhang 2) sind die Gebiete, die nach Anwendung der Temperaturkriterien gefährdet sind, in Zusammenhang mit den Viehdichten zu beurteilen. Eine Auflistung der Orte findet sich in Tabelle 19 (s. u.).

Die Entfernung zum nächsten Kreis mit hoher Rinderdichte wurde in die Bewertung der Gefährdung des Ortes einbezogen. Bei Entfernungen bis zu 3 km zum nächsten Kreis mit hoher Rinderbesatzdichte wurde davon ausgegangen, dass dort die klimatischen Bedingungen nicht anders sind als am Ausgangspunkt. Diese Orte wurden daher so behandelt wie Orte mit hoher Viehdichte, obwohl das an der Messstelle selbst möglicherweise nicht den Tatsachen entspricht. Um festzustellen, welche Menge Wirtstiere insgesamt vorhanden ist, wurde die Anzahl Schafe pro  $\text{km}^2$  in der Tabelle aufgeführt. Nicht berücksichtigt wurden dabei die Wildwiederkäuer, die auch als Reservoir in Frage kommen. Durch diesen zusätzlichen Parameter „Wirtstiere“ änderte sich die Reihenfolge der gefährdeten Orte, obwohl bei den augenblicklichen klimatischen Bedingungen immer noch das höchste Gewicht auf den Temperaturbedingungen liegt. Die sich neu ergebende Rangliste ist in Tabelle 19 (s. u.) aufgeführt.

Tab. 19: Viehdichten

Ort	Neuer Ranglistenplatz	Viehdichte gering <sup>+</sup> /hoch <sup>++</sup> und genauer Wert in Rd / km <sup>2</sup>	Schafe / km <sup>2</sup>	Nächster Kreis mit hoher <sup>++</sup> Rinderdichte - Entfernung in km
1443 – Freiburg	<b>1</b>	gering / 5,98	33,70	~ 3
2522 – Karlsruhe	<b>2</b>	gering / 3,02	0,95	~ 16
1602 – Gengenbach	<b>3</b>	hoch / 23,47	4,82	-
5275 – Waghäusel	<b>4</b>	gering / 8,70	4,24	~ 1,5
2546 – Kehl	<b>5</b>	hoch / 23,47	4,82	-
710 – Bretten	<b>5</b>	gering / 8,70	4,24	~ 3
3576 – Neustadt	<b>6</b>	gering / 3,45	12,20	~ 17
257 – Baden-Baden	<b>6</b>	gering / 1,51	13,65	~ 11,5
5250 – Vogtsburg	<b>7</b>	hoch / 27,51	6,24	-
1093 – Eberbach	<b>8</b>	hoch / 20,24	6,49	-
3777 – Offenburg	<b>9</b>	hoch / 23,47	4,82	-
5692 – Worms	<b>10</b>	gering / 3,23	0	~ 0,4

<sup>+</sup>gering = 0 - 17 Rinder pro km<sup>2</sup>

<sup>++</sup>hoch = 17 - 80 Rinder pro km<sup>2</sup>

### 7.1.3 Auswirkung der Höhe auf das Risiko

Bezüglich der Höhenstufen ergibt sich ein mit zunehmender Höhe abnehmendes Risiko, da die Temperatur mit zunehmender Höhe abnimmt. Dies bezeichnet man als den vertikalen Temperaturgradienten. Die Temperatur nimmt ca. 0,6 bis 1° C pro 100 m ab (in trockener Luft um 1° C, in feuchter Luft um 0,6° C pro 100 m) (Schulze-Neuhoff, 2001). Das liegt daran, dass die Erdoberfläche die kurzwellige Strahlung der Sonne absorbiert und sie in langwellige Wärmestrahlung umwandelt. So wird die Atmosphäre hauptsächlich von der Erde als ausstrahlendem Körper erwärmt (Tonniere, 2001). Zudem dehnt sich die Luft bei fallendem Luftdruck aus, was eine Abkühlung bewirkt. Natürlich ist nicht allein die Höhe für die Temperatur verantwortlich, es zeigt sich jedoch, dass die Orte der Zonen 1 und 2 der Übersichtskarte (Karte 20, Anhang 2) und die Orte der Zone A der Detailkarte (Karte 24, Anhang 2) sich ausschließlich in einer Höhe von 0 bis 350 m ü. N.N. befinden (Abb. 5, Anhang 3). Die Orte,

die in eine Rangliste gebracht wurden, befinden sich in einer Höhe zwischen 90 m und 269 m ü. N.N. Damit bestätigt sich, was im „Weekly epidemiological record“ der WHO (2001) bezüglich der von Vektoren übertragenen Krankheiten festgestellt wurde: „The importance of temperature thus excludes transmission above certain altitudes and beyond certain latitudes.“

#### 7.1.4 Auswirkung der Windstärke auf das Risiko

Die Windstärken haben in zweierlei Hinsicht Einfluss auf das Risiko. Zum einen kann Wind der Faktor sein, durch den die Krankheit eingeführt wird (Sellers, 1992). Zum anderen unterdrücken Windstärken über einem bestimmten Wert die Aktivität von *Culicoides*. In der Literatur werden mit 2,2 m/s (Murray, 1987) bis 3 m/s (Walker, 1977) und von 2 bis 3 m/s (Olbrich, 1987) unterschiedliche Werte genannt. Um einen Überblick darüber zu bekommen, wo häufig stärkerer Wind auftritt, wurden die Mittelwerte der Windstärken berechnet und in Tabelle 20 (s. u.) aufgelistet. Die Windwerte wurden nicht von allen Orten aus der bisherigen Rangliste angefordert. Es fällt auf, dass Orte, die wegen Temperaturbegünstigung und hoher Viehdichte weit oben in der Rangliste stehen, zu den windigsten Gebieten gehören.

Tab. 20: Mittlere Windstärken

Ort	Ranglistenplatz	Mittelwert Windstärke
5275 – Waghäusel	<b>4</b>	0,89
3777 – Offenburg	<b>9</b>	1,17
5250 – Vogtsburg	<b>7</b>	1,27
2546 – Kehl	<b>5</b>	1,46
5692 – Worms	<b>10</b>	1,53
1443 – Freiburg	<b>1</b>	2,16
2522 – Karlsruhe	<b>2</b>	2,61

Auf Diagrammen mit einem Grenzwert bei 2,3 Beaufort (entsprechend 2 m/s) und einer Höchstgrenze bei 3 Beaufort (entsprechend 3,3 m/s) (Abb. 8, Anhang 3) kann man sehen, dass sich die niedrigen bzw. hohen Mittelwerte in einer geringen bzw. hohen Anzahl von windigen Tagen niederschlagen. Um diese Ergebnisse bewerten zu können, muss bedacht werden, dass die Windstärken ohne Angabe der Zeit des Auftretens angegeben wurden, bzw. sich „auf einen mittleren länger anhaltenden Zeitraum“ (DWD, 2001) beziehen. Das bedeutet

nicht, dass die angegebenen Windstärken den ganzen Tag vorliegen. So schränkt eine hohe Windstärke tagsüber bei Windstille während der aktiven Phase der Gnitzen, also z. B. bei Dämmerung, das Auftreten von *Culicoides* und die Übertragung von BTV nicht ein. Desweiteren wurden die Windstärken bei einem Ort (Freiburg) chronologisch aufgetragen, um zu zeigen, dass zwischen windigen Tagen immer wieder für *Culicoides* günstigere, windstillere, Tage liegen. Dies zusammengenommen mit der Tatsache, dass die Windstärken insgesamt nicht sehr viel höher als die Grenzwerte liegen, führt dazu, dass sie bei der Erstellung der Rangliste vernachlässigt werden können.

### 7.1.5 Einfluss des Jahresniederschlags

Nach der Literatur (s. Kap. 3.5.2) wären Vogtsburg, Karlsruhe und evt. Worms für die Brut von *Culicoides* am besten geeignet, da der jährliche Niederschlag 700 mm nur wenig überschreitet, Offenburg hingegen mit 1031 mm im Jahr 2000 wäre ungeeignet. Jedoch zeigen sich in der monatlichen Aufschlüsselung relativ gleichmässig über das Jahr verteilte Niederschläge (Tabelle 16, Anhang 1). Dementsprechend kann man von einer Überschwemmung der Brutplätze, von der bei Nevill (1967) die Rede ist, nicht ausgehen. Die Verteilung des Niederschlags ist in Afrika, wo Nevills Untersuchungen stattfanden, gebündelter als in Deutschland. Zusätzlich wird die Übertragbarkeit der Daten noch dadurch erschwert, dass es bezüglich des Niederschlags keine Angaben über die Anforderungen von heimischen *Culicoides* spp. gibt. Insgesamt kann man jedoch feststellen, dass die jährlichen Niederschläge in Deutschland in einem Rahmen liegen, die eher eine Begünstigung des Vorkommens als eine Einschränkung für *Culicoides* spp. bedeuten. Vor allem die hohen Niederschlagsmengen im Juli dürften zu einer Vermehrung der Brutplätze und somit zu einer Verbesserung der Bedingungen für *Culicoides* führen (Nevill, 1971; s. Kap. 3.5.2).

### 7.1.6 Definition der Risikozonen

Zur Definition der Risikozonen, wie sie auf Karte 28 (Anhang 2) dargestellt sind, wurden zuerst die untersuchten und bereits bewerteten Orte in Gruppen eingeteilt. Die Orte, die in der Rangliste an den Stellen eins bis fünf standen, wurden als Risikogruppe eins (höchstes Risiko) festgelegt. Die Ranglistenplätze fünf bis zehn wurden als Risikogruppe zwei (hohes Risiko) definiert. Als nächster Schritt wurde die Risikogruppe drei (geringes Risiko) aus verschiede-



nen Gruppen zusammengesetzt. Ein Teil entstand durch ausgewertete Stationen, deren Werte nicht so günstig für *Culicoides* sind wie bei den gefährdeten Gebieten, ein anderer durch die räumliche Nähe der betreffenden Gebiete zu untersuchten gefährdeten Gebieten bei Berücksichtigung der geographischen Gegebenheiten. Diese geographischen Gegebenheiten waren vor allem die umrahmenden Mittelgebirge, die ein Vorkommen von *Culicoides* einschränken. Eine weitere Überlegung, die in die Definition der Risikogruppen einfließt, war die Nähe der Orte zu Flughäfen, die als mögliche Quelle von zufällig eingeflogenen infizierten Gnitzen ein Risiko darstellen. Die zwei in Frage kommenden Flughäfen Karlsruhe und Straßburg (für Kehl) liegen bereits in der Nähe von Orten der Risikozone 1. Eine komplette Liste der gefährdeten Gebiete, nach Postleitzahlgebieten aufgeschlüsselt, ist in Tabelle 21 bis 23 (Anhang 1) einzusehen. Im restlichen Deutschland ist das Risiko für einen Ausbruch von BTM als unwahrscheinlich einzustufen. Es bleibt zu bedenken, dass dies eine Einteilung ist, die durch eine Karte, die die Höhenstufen einbezieht und mehr Stationen auswertet, präzisiert werden sollte.

## **7.2 Folgen und Empfehlungen für die Risikozonen sowie die restlichen Gebiete**

Aus der vorliegenden Untersuchung ergibt sich für die Risikozonen (Karte 28, Anhang 2), vor allem für Risikozone eins, die Möglichkeit eines Ausbruchs von BTM. Dies ist hauptsächlich in den warmen Sommermonaten nach dem Einschleppen infizierter Tiere zu befürchten, weniger nach einer zufälligen Einfuhr infizierter Vektoren (z. B. mit dem Flugzeug), da die Krankheit von einem Aufrechterhalten der Infektionskette abhängig ist und dies wiederum nur durch eine genügende Anzahl kompetenter Vektoren gegeben ist. Säugetierwirte stehen in den betroffenen Gebieten in genügender Menge zur Verfügung. In der augenblicklichen klimatischen Lage können nur ein oder mehrere warme Monate mit Temperaturen über 33° C über mehrere Tage eine Erhöhung der Vektorkompetenz von heimischen Gnitzen bewirken. Somit stünde ein größerer Pool von potentiellen Überträgern zur Verfügung, der Voraussetzung für eine Verbreitung von BTM ist (Gibbs und Greiner, 1994), falls nicht eine Anpassung von *C. imicola* an kältere Temperaturen oder eine genetische Drift stattfindet, wie von Gibbs und Greiner (1994) befürchtet. Ein Überwintern des Krankheitserregers ist nicht wahrscheinlich (s. Kap. 7.1.1.1 und 7.1.1.2).

Daraus lassen sich verschiedene Empfehlungen für die Risikozonen ableiten:

1. In den in Frage kommenden Monaten Juni bis August sollten aus dem südlichen Europa zur Schlachtung angelieferte Schafe oder Rinder möglichst nicht mehrere Tage am Schlachthof stehen, bis sie geschlachtet werden.
2. Schlachthöfe in den Risikogebieten sollten nicht in der näheren Umgebung von Feuchtgebieten liegen. Zudem ist eine Hygiene bezüglich der Gnitzen innerhalb der Schlachtgebäude einzuhalten (Anwendung von Insektiziden und anderen geeigneten Maßnahmen).
3. Im Verdachtsfall müssen Wiederkäuer von 18:00 bis 8:00 Uhr aufgestellt werden, da die Vektoren abends und morgens am aktivsten sind.
4. Der Import von Wiederkäuern aus den Schutz- bzw. Sperrzonen (Griechenland, Teile Italiens, Spaniens und Frankreichs) ist bereits verboten (Richtlinie 2000/75/EG des Rates, Artikel 9). Ausnahmen sind durch Entscheidung 2001/783/EG der Kommission geregelt. Gelegentliche Kontrollen von Tieren aus dem südlichen Europa mit Hilfe z. B. eines ELISA können zusätzliche Sicherheit gewähren. Hawkes und Mitarbeiter (2000) bewerteten einen verbesserten „bluetongue antigen capture ELISA (BTACE)“. Dieser ELISA kann mit hoher Sensitivität alle 24 Serotypen erkennen.
5. Eine aktuelle Viehzählung im Risikogebiet kann Aufschluss darüber geben, wieviele Impfdosen in der Impfstoffbank der Gemeinschaft (Entscheidung 2001/433/EG der Kommission) vorrätig gehalten werden sollten. So kann im Falle einer Infektion schnell gehandelt werden. Impfungen mit dem z. Zt. einzig zur Verfügung stehenden attenuierten Lebendimpfstoff sind allerdings mit Risiken behaftet und nur in Notfällen einzusetzen. Es bestehen folgende Risiken: Die Teratogenität einiger attenuierter BTV-Linien ist bekannt (Johnson et al., 1992 a, b). Außerdem ist zu befürchten, dass die Impfstämme wieder virulent werden. Des Weiteren könnte ein Reassortement zwischen attenuierten Impfstämmen und Feldvirus stattfinden und daraus neue Serotypen entstehen. Zudem lassen sich infizierte Tiere serologisch nicht von geimpften Tieren unterscheiden. Von einer prophylaktischen Impfung ist daher abzuraten.
6. Die Temperaturentwicklung in den Risikozonen ist weiter zu verfolgen, um bei Auftreten von BTD schnell und sicher eine Schutz- und Kontrollzone entsprechend der „geographischen Lage und ökologischen Faktoren, Witterungsverhältnissen, Vorkommen und Verteilung des Vektors, Ergebnisse der gemäß Artikel 7 angestellten Nachforschungen zur Epizootiologie“ (Richtlinie 2000/75/EG des Rates, Artikel 8, Absatz 3) definieren zu können.

7. Genauere Untersuchungen über das Vorkommen von *Culicoides* spp. im Risikogebiet sollten durchgeführt werden.

Eine weitere Überlegung, die auch dem Tierschutzgedanken Rechnung trägt, wäre, Importe von Wiederkäuern aus Gebieten, die südlich des 45. oder 46. Grades nördlicher Breite liegen, zumindest in den Monaten Juni bis Ende August ganz zu unterbinden. Dies würde den größtmöglichen Schutz vor dem Einschleppen von BTM bei den augenblicklichen klimatischen Bedingungen bieten. Gleichzeitig sollte aber die Entwicklung der Temperaturen weiter verfolgt werden, um Änderungen rechtzeitig zu erkennen und darauf reagieren zu können.

Die restlichen Gebiete Deutschlands, die nicht innerhalb der Risikozonen liegen, sind höchstwahrscheinlich nicht gefährdet und kommen derzeit ohne besondere Sicherheitsmaßnahmen aus. Allerdings ist in Orten wie Berlin oder Leverkusen, wo es gelegentlich auch sehr warme Sommermonate gibt, eine Gefährdung nicht ganz ausgeschlossen. Auch hier erscheint eine weitere Beobachtung sinnvoll.

### **7.3 Ausblick auf Veränderungen durch Klimaerwärmung und deren Folgen für *Culicoides* spp. und Bluetongue Disease in Deutschland**

Die zu erwartenden Entwicklungen des Klimas wurden bereits ausführlich in Kapitel 4.1 beschrieben. In den vergangenen 40 Jahren hat sich der Frühlingseinzug in Europa in den nördlichen Breiten 45° bis 70° durchschnittlich zwölf Tage früher eingestellt. Seit den achtziger Jahren wurden die nordeuropäischen Winter milder und die Minimaltemperaturen stiegen verhältnismäßig stärker an als die Maximaltemperaturen (Beniston und Tol, 1998). Bluetongue Disease und andere vektorübertragene Krankheiten werden im 21. Jahrhundert ein immer größer werdendes Problem darstellen. Dies resultiert vor allem aus einer Änderung in der Verbreitung der Vektoren sowie aus einer veränderten Vektorkapazität und –kompetenz.

- Vorkommen der Vektoren:

Parmesan und Mitarbeiter (1999) fanden heraus, dass sich das Verbreitungsgebiet von 14 Schmetterlingsarten in Europa während der letzten 100 Jahre zwischen 35 und 240 km nach Norden verschoben hat. Nach Hughes (2000) korrespondiert eine Temperaturerhöhung der durchschnittlichen Jahrestemperatur von 2° C mit einer Nordverschiebung der Verbreitungsgrenzen von Insektenarten von ca. 200 km. Lindgren und Mitarbeiter (2000) stellten in Schweden eine Verschiebung der nördlichen Verbreitungsgrenze der Zecke *Ixodes ricinus* durch den Einfluss des erwärmten Klimas fest. Ebenso entwickelte sich

dadurch eine größere Population dieser Zeckenart. Neben Borreliose, Ehrlichiose und Frühsommermeningoenzephalitis können Zecken auch BTV übertragen, sind aber wahrscheinlich epidemiologisch hier kein entscheidender Faktor (Mellor und Boorman, 1995). Auf den Karten 21 und 27 (Anhang 2) sind die veränderten klimatischen Bedingungen bei einem Anstieg der Temperaturen um 2° C projiziert. Die vorher begrenzte Risikozone dehnt sich über weite Teile Deutschlands aus. Dies würde eine Veränderung in der Populationsgröße und Vektorkompetenz von *Culicoides* spp. nach sich ziehen, da die Letalitätsgrenze bei dieser Temperaturerhöhung sicher nicht erreicht wird. Die Verbreitungsgrenzen von *C. imicola* als Hauptüberträgerspezies in Europa werden sich durch eine Klimaerwärmung nach Norden verschieben, was das Risiko der in Europa ansässigen empfänglichen Wiederkäuerpopulation für BTD erheblich steigert. Die erstmalig in Italien und Frankreich, sowie im nördlichen Griechenland, Bulgarien, auf den Balearen und im ehemaligen Jugoslawien aufgetretenen Ausbrüche seit 1998 sprechen bereits für ein Vordringen der Vektoren und damit der Krankheit nach Norden. Wenn *C. imicola* in die Reichweite heimischer *Culicoides* spp. gerät, könnte damit auch BTV in deren Vorkommensbereich gelangen. Falls sich diese Arten empfänglich zeigen (Mellor und Mitarbeiter [2000] wiesen bereits darauf hin, dass in Bulgarien BTD auftrat, obwohl in dem Gebiet nicht *C. imicola*, sondern *C. obsoletus* vorkommt), könnten sie das BTV weiter in nördliche Regionen hineintragen.

- Vektorkapazität und –kompetenz:

Kapitel 3.5.1 beschreibt den Einfluss der Temperatur auf die Vektorkapazität. So entstehen bei höheren Temperaturen größere Populationen. Die EIP verkürzt sich und die Frequenz der Blutmahlzeiten erhöht sich. Dadurch wird die Möglichkeit der Übertragung des BTV häufiger gegeben. Die Vektorkompetenz z. B. von *C. nubeculosus* erhöht sich, wie in Kapitel 3.7.1 beschrieben. Dies könnte auch für andere heimische *Culicoides* spp. zutreffen. Ebenso rückt eine Überwinterung des BTV mehr und mehr in den Bereich des Möglichen.

Insgesamt betrachtet wird die Klimaerwärmung in Europa dazu führen, dass sich die Zonen, in denen das Risiko einer BTV-Infektion besteht, weiter nach Norden verlagern. Für Deutschland bedeutet dies, dass sich die Gebiete, in denen zumindest die Möglichkeit einer kurzfristigen Epidemie besteht, stark vergrößern werden. Es gilt zu bedenken, dass in dieser Arbeit nur einige Überträgerspezies stellvertretend besprochen wurden. Auch für andere *Culicoides* spp. bewirken Temperaturerhöhungen Veränderungen, so z. B. für die auch in Deutschland ansässige Art *C. obsoletus*, die in Bulgarien 1999 mit der Übertragung des BTV

in Verbindung gebracht wurde (Mellor et al., 2000). Eine der direkten Einwirkungen der Klimaerwärmung besteht in der Änderung im Vorkommen und in der Verbreitung von Insektenpezies (Sutherst, 1990). Dies bringt auch für andere Erkrankungen, wie z. B. Borreliose und Ehrlichiose, ein wachsendes Risiko mit sich (Berglund et al, 1995; Bjöersdorff et al., 1999). „Our results suggest that the milder climate in Sweden has contributed not only to increases in TBE [= tick born encephalitis = Frühsommermeningoenzephalits, Anm. d. Verf.] incidence, but also to increases in the incidence of other diseases transmitted by *I. ricinus*, such as Lyme borreliosis and human erlichiosis (sic)“ (Lindgren und Gustafson, 2001, S. 18).

Umso wichtiger ist es, Gegenmaßnahmen in Form von Kontrollplänen und Überwachung der Wiederkäuer sowie der Gnitzenpopulation durchzuführen. Auch wäre eine Entwicklung von sichereren Vakzinen aus inaktivierten Erregern sinnvoll.

#### **7.4 Anwendbarkeit der Methode auf andere vektorübertragene Krankheiten**

Das GIS zur bildlichen Darstellung der klimatischen Bedingungen auf Karten, Interpolation sowie Kartenaddition hat sich als gutes Hilfsmittel bei dieser Untersuchung erwiesen. Die Flexibilität des Systems macht ein weiteres Verfolgen und Aktualisieren der Entwicklung sowie Projektionen in die Zukunft möglich. Auch andere Vektoren sind von klimatischen Bedingungen abhängig, z. B. Zeckenarten als Überträger der Borreliose (Lindgren et al., 2000). Geographische Informationssysteme geben gute Möglichkeiten zur Untersuchung der Epidemiologie von Erkrankungen sowie der Darstellung des Habitats von Vektoren. So werden sie bei der Untersuchung der Epidemiologie und Entwicklung von Bekämpfungsstrategien z. B. gegen Malaria bereits genutzt (Jeanne, 2000; Srivastava et al., 1999).

Das vorliegende Beispiel einer Untersuchung einer vektorübertragenen Krankheit zeigt die Transparenz, die man mit Hilfe eines GIS auch für andere vektor- bzw. klimaabhängige Krankheiten erreichen kann. Dies bestätigt die Auffassung bzw. entspricht den Forderungen anderer Verfasser bezüglich der verbesserten Methodik bei der Untersuchung derartiger Krankheiten (Bergquist, 2001; Molyneux, 2001). Ein weiteres Verfolgen der klimatischen Bedingungen und Aktualisieren des GIS, womöglich bei einem zusätzlichen Einbringen der Höhenstufen in das System, kann in einem in der Richtlinie 2000/75/EG des Rates geforderten Krisenzentrum (Artikel 7, Absatz 2) hilfreich sein.

## 8 Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde mit Hilfe eines Geographischen Informationssystems (GIS) das Risiko der Einschleppung der Bluetongue Disease (BTD) bewertet. Weiterhin wurden daraus folgend für den möglichen Fall einer Einschleppung Maßnahmen zur Unterbindung von BTD-Infektketten vorgeschlagen.

BTD ist eine anzeigepflichtige Erkrankung der Liste A des Office International des Épizooties (OIE), die durch das Bluetongue Virus (BTV), ein Orbivirus, ausgelöst wird. Empfänglich für diese Erkrankung sind Wiederkäuer. Vor allem bei Schafen und Wildwiederkäuern kann die Erkrankung mit hoher Morbidität und Mortalität einhergehen, bei Rindern verläuft eine Infektion meist klinisch inapparent. Die BTD kommt weltweit zwischen 30° südlicher und 50° nördlicher Breite, europaweit zwischen 35° südlicher und 45° nördlicher Breite vor. In Deutschland ist sie bisher nicht aufgetreten. Gnitzen der Gattung *Culicoides* sind zyklische Überträger des BTV und fungieren als Vektoren. In Südeuropa ist dies hauptsächlich *Culicoides imicola*, eine Art, die bisher in Deutschland nicht heimisch ist. Hier sind andere *Culicoides* spp. ansässig, die unter Umständen auch zur Übertragung befähigt sind. So erhöhen bestimmte Temperaturen die Vektorkompetenz und die Vektorkapazität dieser Arten. Mit Hilfe eines GIS wurden in dieser Arbeit die klimatisch begünstigten Habitate der Vektoren in Deutschland kartographisch dargestellt. In den so ermittelten Risikozonen, die hauptsächlich am Rhein in Baden-Württemberg, Hessen und Rheinland-Pfalz liegen, besteht bei den augenblicklichen klimatischen Verhältnissen die Gefahr, dass nach Einschleppen infizierter Tiere ein Ausbruch der BTD stattfindet. Dies könnte vor allem in den warmen Sommermonaten (Juni bis August) geschehen. Ein Überwintern des BTV ist in der momentanen Situation unwahrscheinlich. Basierend auf diesen Untersuchungen wurde eine Reihe von Maßnahmen vorgeschlagen, um prophylaktisch oder aber nach Eintreten des „worst case“ unverzüglich tätig werden zu können. Diese Maßnahmen umfassen für die Risikozonen im wesentlichen die folgenden Punkte:

1. In den Monaten Juni bis August sollten Wiederkäuer, die aus dem südlichen Europa angeliefert wurden, möglichst nicht mehrere Tage am Schlachthof stehen, bis sie geschlachtet werden.
2. Schlachthöfe in Risikogebieten sollten nicht in der Nähe von Feuchtgebieten liegen. Gnitzen sind durch Insektizide und andere geeignete Maßnahmen aus den Schlachthofgebäuden fernzuhalten.

3. Im Verdachtsfall müssen Wiederkäuer von 18:00 bis 8:00 Uhr aufgestallt werden, da die Vektoren abends und morgens am aktivsten sind.
4. Der Import von Wiederkäuern aus den Schutz- bzw. Sperrzonen (Griechenland, Teile Italiens, Spaniens und Frankreichs) ist bereits verboten (Richtlinie 2000/75/EG des Rates, Artikel 9). Ausnahmen sind durch Entscheidung 2001/783/EG der Kommission geregelt. Gelegentliche Kontrollen von Tieren aus dem südlichen Europa, z. B. mit Hilfe eines ELISA, können zusätzliche Sicherheit gewähren.
5. Eine aktuelle Viehzählung im Risikogebiet kann Aufschluss darüber geben, wieviele Impfdosen in der Impfstoffbank der Gemeinschaft (Entscheidung 2001/433/EG der Kommission) vorrätig gehalten werden sollten. So kann im Falle einer Infektion schnell gehandelt werden.
6. Die Temperaturentwicklung in den Risikozonen sowie deren Ausdehnung ist weiter zu verfolgen, um bei Auftreten von BTB schnell und sicher eine Schutz- und Kontrollzone entsprechend der geographischen Lage und ökologischen Faktoren, Witterungsverhältnissen, Vorkommen und Verteilung des Vektors nach genauer Erforschung der Epizootiologie (Richtlinie 2000/75/EG des Rates, Artikel 8) einrichten zu können.
7. Genauere Untersuchungen über das Vorkommen von *Culicoides* spp. im Risikogebiet sollten durchgeführt werden.

Für die Gebiete, die nicht innerhalb der Risikozonen liegen, sind derzeit keine besonderen Schutzmaßnahmen notwendig. Allerdings müssen die Veränderungen der Temperaturen und somit auch der Risikozonen beobachtet werden, so dass im Fall einer Einschleppung des BTB der Wissensstand im Hinblick auf eine mögliche Bekämpfung aktuell ist.

Europaweit werden diese Maßnahmen über die o. g. Richtlinie 2000/75/EG des Rates geregelt, die im Jahr 2002 auch in nationales Recht übergehen soll. Die vorliegende Arbeit kann diesen Übergang unterstützen.

Bei der zu erwartenden Klimaerwärmung wird sich das Risikogebiet stark vergrößern. Außerdem steigt die Wahrscheinlichkeit an, dass es in den bisherigen Risikogebieten zu einem Ausbruch kommt. Dies liegt vor allem an den verbesserten Bedingungen für die heimischen *Culicoides* spp., aber auch an der Ausdehnung des Verbreitungsgebietes von *C. imicola* nach Norden. Eine konstante Aktualisierung des GIS sowie eine weitere Erforschung des Vorkommens der Vektoren ist daher wünschenswert.

## 9 Summary

### *Bluetongue Disease in Germany? A risk assessment using a Geographical Information System (GIS)*

The present work evaluates the risk of importing Bluetongue Disease (BTD) using a Geographic Information System (GIS). The conclusions of this evaluation were used to propose measures to stop the spread of BTD in case the disease is imported.

BTD is a notifiable disease on list A of the Office International des Épizooties (OIE). It is caused by an orbivirus, the bluetongue virus (BTV). Ruminants are most susceptible. BTV infection has high rates of morbidity and mortality in sheep and wild ruminants, whereas in cattle it is subclinical. BTD occurs worldwide from latitude 30° south to 50° north, in Europe from latitude 35° south to 45° north. It has never occurred in Germany. *Culicoides* biting midges are cyclic vectors of BTV, especially *C. imicola* in southern Europe, a species that is not yet indigenous to Germany. Other local *Culicoides* spp. could act as vectors for BTV under certain circumstances. High temperatures increase vector competence and vector capacity of these species. The areas of Germany that are a favoured habitat due to their climate are presented in this work with maps using a GIS. In these high risk areas, mainly Baden-Württemberg, Hessen and Rheinland-Pfalz, there is a chance of an outbreak of the disease after importing infected animals. This could occur especially in the warmer summer months (June until August). Overwintering of BTV is unlikely. Based on this analysis some prophylactic measures are proposed as well as proposals for immediate measures in the "worst case". These measures are mainly the following:

1. From June to August ruminants from southern Europe should not be held at a slaughterhouse for days before slaughter.
2. Slaughterhouses in areas at risk should not be close to wetlands. Biting midges are to be kept out of the buildings using insecticides and other suitable measures.
3. As soon as notification is given of suspected presence of BTD, ruminants must be kept inside from 6:00 p.m. to 8:00 a.m. because vectors are most active in the evening and morning.
4. The import of ruminants from restricted areas (i.e. protection zones: Greece, parts of Italy, Spain and France) is already forbidden (Council Directive 2000/75/EC). Commission Decision 2001/783/EC permits movements of animals within and out of these zones under certain circumstances. Occasional checks of animals coming from southern Europe using an ELISA could give even more security.



5. A count of animals in the risk areas can verify how many doses of bluetongue vaccine must be purchased and stocked at the Community bank by the Community (Commission Decision 2001/433/EC). This will make dealing with a case of infection quicker.
6. The development of temperature in the risk areas and the expansion of the risk areas themselves should be monitored so as to be able to react quickly in case of an outbreak of BTB. The demarcation of a protection zone and a surveillance zone must take account of geographical, administrative, ecological and epizootiological factors connected with bluetongue (Council Directive 2000/75/EC, Article 8).
7. Precise investigations about the occurrence of *Culicoides* spp. in the risk areas should be made.

At the time, no specific protection measures for non-risk-areas are necessary, but monitoring of the risk areas and their development, especially in temperature, must be carried out to have the up-to-date knowledge necessary for an adequate reaction in case of an outbreak of BTB.

The European directive mentioned (Council Directive 2000/75/EC) which deals with this disease is due to pass into national law in 2002; this work can help the process. With global warming, the areas at risk will grow as well as the probability of an outbreak in these areas. This is mainly due to better conditions for local *Culicoides* spp. as well as the expansion of the habitat of *C. imicola* to the north. Keeping the GIS constantly up to date and further investigation of the vectors and their needs is therefore desirable.

## 10 Literaturnachweis

1. Alexander-Weltatlas, 1982, erste Auflage 1982, Ernst Klett Verlag, Stuttgart, S. 106 (IV).
2. Anonymous, 1876-1877, *Report of Cattle and Sheep Disease Commission*, South Africa, 16, 189.
3. Barnard, B. J. H., Gerdes, G. H., Meiswinkel, R., 1998, Some epidemiological and economic aspects of a bluetongue-like disease in cattle in South Africa - 1995/96 and 1997, *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 65, 145-151.
4. Barratt-Boyes, S. M., MacLachlan, N. J., 1994, Dynamics of viral spread in bluetongue virus infected calves, *Veterinary Microbiology*, 40 (3-4), 361-371.
5. Baylis, M., Rawlings, P., 1998, Modelling the distribution and abundance of *Culicoides imicola* in Morocco and Iberia using climatic data and satellite imagery, Aus: African Horse Sickness (Mellor, P. S., Baylis, M., Hamblin, C., Calisher, C. H., Mertens, P. P. C., Hrsg.), *Archives of Virology Supplement*, 14, Wien, Springer, 137-153.
6. Baylis, M., Bouayoune, H., Touti, J., El Hasnaoui, H., 1998 a, Use of climatic data and satellite imagery to model the abundance of *Culicoides imicola*, the vector of African horse sickness virus, in Morocco, *Medical and Veterinary Entomology*, 12, 255-266.
7. Baylis, M., Touti, J., Bouayoune, H., Moudni, L., Taoufiq, B., El Hasnaoui, H., 1998 b, Studies of the mortality rate of *Culicoides imicola* in Morocco, Aus: African Horse Sickness (Mellor, P. S., Baylis, M., Hamblin, C., Calisher, C. H., Mertens, P. P. C., Hrsg.), *Archives of Virology Supplement*, 14, Wien, Springer, 127-136.
8. Becker, C.-H., 1968, Bluetongue, Aus: Handbuch der Virusinfektionen bei Tieren, Bd III/2, Jena, S. 1167-1201.
9. Bekanntmachung des Internationalen Übereinkommens zur Einrichtung eines Internationalen Tierseuchenamtes in Paris (Office Internationale des Èpizooties) vom 29. April 1974, Bundesgesetzblatt Teil II, S. 676.
10. Bekker, J. G., DeKock, G., Quinlan, J. G., 1934, The occurrence and identification of bluetongue in cattle - the so-called pseudo-foot and mouth disease in South Africa, *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, 2, 393-507.
11. Bellis, G. A., Gibson, D. S., Polkinghorne, I. G., Johnson, S. J., Flanagan, M., 1994, Infection of *Culicoides brevitarsis* and *C. wadai* (Diptera: Ceratopogonidae) with four Australian serotypes of bluetongue virus, *Journal of Medical Entomology*, 31, 382-387.

12. Beniston, M., Tol, R. S. J., 1998, Europe, Aus: IPCC, The regional impacts of climate change: an assessment of vulnerability. A special report of Working Group II. New York: Cambridge University Press, S. 149-187.
13. Berglund, J., Eitrem, R., Ornstein, K., Lindberg, A., Ringer, A., Elmrud, H., Carlsson, M., Runehagen, A., Svanborg, C., Norrby, R., 1995, An epidemiological study of Lyme disease in southern Sweden, *New England Journal of Medicine*, 333 (20), 1319-1327.
14. Bergquist, N. R., 2001, Vector-borne parasitic diseases: new trends in data collection and risk assessment, *Acta tropica*, 79 (1), 13-20.
15. Birley, M. H., Boormann, J. P. T., 1982, Estimating the survival and biting rates of haematophagous insects, with particular reference to the *Culicoides* obsoletus group (*Diptera*, *Ceratopogonidae*) in southern England, *Journal of Animal Ecology*, 51 (1), 135-148.
16. Bishop, A. L., Barchia, I. M., Harris, A. M., 1995, Last occurrence and survival during winter of the arbovirus vector *Culicoides brevitarsis* at the southern limits of its distribution, *Australian Veterinary Journal*, 72, 53-55.
17. Bishop, A. L., McKenzie, H. J., Barchia, I. M., Harris, A. M., 1996, Effect of temperature regimes on the development, survival and emergence of *Culicoides brevitarsis* Kieffer (*Diptera: Ceratopogonidae*), *Australian Journal of Entomology*, 35, 361-368.
18. Bjöersdorff, A., Brouqui, P., Eliasson, I., Massung, R. F., Wittesjö, B., Berglund, J., 1999, Serological evidence of Ehrlichia infection in Swedish Lyme borreliosis patients, *Scandinavian Journal of Infectious Diseases*, 3, 51-55.
19. Blackwell, A., 1997, Diel flight periodicity of the biting midge *Culicoides impunctatus* and the effects of meteorological conditions, *Medical and Veterinary Entomology*, 11, 361-367.
20. Blanton, F. S., Wirth, W. W., 1979, The sandflies (*Culicoides*) of Florida (*Diptera: Ceratopogonidae*), *Arthropods of Florida and Neighboring Land Areas*, 10, 1-204.
21. Boorman, J., 1975, Semi-automatic device for inoculation of small insects with viruses, *Laboratory Practice*, 24, 90.
22. Boorman, J., Jennings, M., Mellor, P. S., Wilkinson, P., 1985, Further data on the distribution of biting midges in southern Europe and the Mediterranean area, with special reference to *Culicoides imicola*, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Joachim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 187-190.
23. Boorman, J., 1993, Biting midges (*Ceratopogonidae*), Aus: Medical Insects and Arachnids (Lane, R. P., Crosskey, R. W., Hrsg.), Chapman and Hall, London, S. 288-309.

24. Bowen, R. A., Howard, T. H., Entwistle, K. W., Pickett, B. W., 1983 a, Seminal shedding of bluetongue virus in experimentally infected mature bulls, *American Journal of Veterinary Research*, 44 (12), 2268-2270.
25. Bowen, R. A., Howard, T. H., Elsdon, R. P., Seidel, G. E. Jr. , 1983 b, Embryo transfer from cattle infected with bluetongue virus, *American Journal of Veterinary Research*, 44 (9), 1625-1628.
26. Bowen, R. A., Howard, T. H., 1984, Transmission of bluetongue virus by intrauterine inoculation or insemination of virus-containing bovine semen, *American Journal of Veterinary Research*, 45 (3), 1386-1388.
27. Bowen, R. A., Howard, T. H., Pickett, B. W., 1985, Seminal shedding of bluetongue virus in experimentally infected bulls, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 91.
28. Bowne, J. G., Luedke, A. J., Foster, N. M., Jochim, M. M., 1966, Current aspects of bluetongue in cattle, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 148, 1177-1180.
29. Bowne, J. G., 1971, Bluetongue Disease, *Advances in Veterinary Science and Comparative Medicine*, 15, 1-46.
30. Braverman, Y., Galun, R., Ziv, M., 1974, Breeding sites of some *Culicoides* species (*Diptera*, *Ceratopogonidae*) in Israel, *Mosquito News*, 34, 303-308.
31. Braverman, Y., 1978, Characteristics of *Culicoides* (*Diptera*, *Ceratopogonidae*) breeding places near Salisbury, Rhodesia, *Ecological Entomology*, 3, 163-170.
32. Braverman, Y., 1994, Nematocera (Ceratopogonidae, Psychodidae, Simuliidae and Culi-  
cidae) and control methods, *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 13, 1175-1199.
33. Campbell, M. M., Pelham-Clinton, E. C., 1960, Taxonomic Review of the British Species of *Culicoides* Latreille (*Diptera*, *Ceratopogonidae*), *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh B* 67, 181-303.
34. Carr, M. A., De Mattos, C. C., De Mottos, C. A., Osburn, B. I., 1994, Association of bluetongue virus gene segment 5 with neuroinvasiveness, *Journal of Virology*, 68, 1255.
35. DeKock, G., DuToit, R. M., Neitz, W. O., 1937, Observations on bluetongue in cattle and sheep, *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, 8, 129-180.
36. Dierke-Weltatlas, 1996, vierte Auflage 1996, Herstellungsjahr 2000, Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig, S. 46.

37. Dipeolu, O. O., Durojaiye, O. A., Sellers, K. C., 1974, Preliminary observations on the distribution of *Culicoides* species (*Diptera: Ceratopogonidae*) on the teaching and research farm of the University of Ibadan, *Nigerian Journal of Entomology*, 1 (1), 35-42.
38. Downes, J. A., 1950, Habits and life-cycle of *Culicoides nubeculosus* Meigen, *Nature*, 166, 510-511.
39. Doyle, L. G., Heuschele, W. P., 1983, Prevalence of antibody to major viral diseases in captive exotic ruminants, *Annual proceedings - American Association of Zoo Veterinarians*, 76-82.
40. Du Toit, R. M., 1944, The transmission of blue-tongue and horse-sickness by *Culicoides*, *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, 19, 7-16.
41. DWD, 2001, <http://www.dwd.de/services/gfsf/bedeut.html>.
42. Earthobservatory (NASA), 2001, <http://earthobservatory.nasa.gov/Library/MeasuringVegetation/>.
43. Emergency Report 1. September 2000, Vol.13, No.34, Telefax des Gesundheitsministeriums in Rom, internationales Tierseuchenamt, Dr. Marabelli, Direktor.
44. Emergency Report 11. Oktober 2000, Telefax von Dr. Quintiliano Perez Bonilla, Director General of Animal Production, Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Madrid.
45. Emergency Report 16. Juli 2001, Telefax von Dr Isabelle Chmitelin, Deputy Director General, General Directorate for Food, Ministry of Agriculture and Fisheries, Paris.
46. Emergency Report, 17. September 2001, Telefax von Dr. Vasilios Stylos, Head, Animal Health Directorate, Ministry of Agriculture, Athens.
47. Emergency Report, 18. September 2001, Telefax des Gesundheitsministeriums in Rom, internationales Tierseuchenamt, Dr. Marabelli, Direktor.
48. Emergency Report, 21. September 2001, Dr. Nikola T. Belev, Delegate of Bulgaria to the OIE.
49. Emergency Report, 5. Oktober 2001, Dr. Zoran Danevski, Director of Veterinary Service, Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy, Skopje, Macedonia.
50. Emergency Report, 10. Oktober 2001, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Rome, Italy / Veterinary Services of the United Nations Interim Administration Mission in Kosovo (UNMIK) / Joint Interim Administrative Structure (JIAS).
51. Emergency Report, 6. November 2001, Dr. Zoran Danevski, Director of Veterinary Service, Ministry of Agriculture, Forestry and Water Economy, Skopje, Macedonia.
52. Emergency Report, 23. November 2001, Dr. Petar Trojanovic, Federal Minister of Trade and Internal Commerce, Belgrade.

53. Emergency Report, 14. Dezember 2001, Dr. Mate Brstilo, Director of the Veterinary Administration, Ministry of Agriculture and Forestry, Zagreb.
54. Entscheidung 2001/138/EG der Kommission vom 9. Februar 2001 zur Einrichtung von Schutz- und Kontrollzonen im Zusammenhang mit der Blauzungenkrankheit in der Gemeinschaft (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. Nr. L 050, S. 17-19.
55. Entscheidung 2001/433/EG der Kommission vom 21. Mai 2001 für den Ankauf von Impfstoff gegen die Blauzungenkrankheit durch die Gemeinschaft und zur Aufstockung der gemeinschaftlichen Impfstoffbank, ABl. Nr. L 154, S. 61-62.
56. Entscheidung 2001/783/EG der Kommission vom 9. November 2001 über die Schutz- und Kontrollzonen im Zusammenhang mit der Blauzungenkrankheit und Vorschriften für die Verbringung von Tieren aus diesen Zonen (Text von Bedeutung für den EWR), ABL. L 293 vom 10. November 2001, S. 42-46.
57. Entscheidung 2002/35/EG der Kommission vom 16. Januar 2002 zur Änderung der Entscheidung 2001/783/EG hinsichtlich der Schutz- und Kontrollzonen im Zusammenhang mit der Blauzungenkrankheit in Italien (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. L 015 vom 17. Januar 2002, S.31.
58. Entscheidung 2002/189/EG der Kommission vom 5. März 2002 zur Änderung der Entscheidung 2001/783/EG hinsichtlich der Schutz- und Kontrollzonen im Zusammenhang mit der Blauzungenkrankheit in Italien (Text von Bedeutung für den EWR), ABl. L 063 vom 6. März 2002, S. 26.
59. Erasmus, B. J., 1975, Bluetongue in sheep and goats, *Australian Veterinary Journal*, 51 (4), 165-170.
60. ESRI, 2002, What ist GIS?, <http://www.esri.com>.
61. Flanagan, M., Wilson, A. J., Trueman, K. F., Shepherd, M. A., 1982, Bluetongue virus serotype 20 infection in pregnant Merino sheep, *Australian Veterinary Journal*, 59 (1), 18-20.
62. Foster, N. M., Jones, R. H., Luedke, A. J., 1968, Transmission of attenuated and virulent bluetongue virus with *Culicoides variipennis* infected orally via sheep, *American Journal of Veterinary Research*, 29, 275-279.
63. Foster, N. M., Jones, R. H., 1973, Bluetongue virus transmission with *Culicoides variipennis* via embryonating chicken eggs, *Journal of Medical Entomology*, 10, 529-532.
64. Fu, H., Leake, C. J., Mertens, P. P. C., Mellor, P. S., 1999, The barriers to bluetongue virus infection, dissemination and transmission in the vector, *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae), *Archives of Virology*, 144, 747-761.

65. Gambles, R. M., 1949, Bluetongue of sheep in Cyprus, *Journal of Comparative Pathology and Therapeutics*, 59, 176-190.
66. Geo-Spezial „Wetter“, 1982, thematische Karten, Ausgabe 2/1982, 60-65.
67. Gibbs, E. P., Greiner, E. C., 1994, The epidemiology of bluetongue, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, Aug-Nov, 17 (3-4), 207-220.
68. Gorman, B. M., Taylor, J., Walker, P. J., 1983, Orbiviruses, Aus: The Reoviridae - New York, London, S. 287-357.
69. Gorman, B. M., 1990, The Bluetongue Viruses, *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 162, 1-19.
70. Grant, K. M., Clay, A. L., Hale, K. B., 1967, Action taken in Queensland to prevent a possible introduction of bluetongue virus in cattle semen, *Australian Veterinary Journal*, Sydney, 43, 31-33.
71. Greiner, E. C., Barber, T. L., Pearson, J. E., Kramer, W. L., Gibbs, E. P. J., 1985, Orbiviruses from *Culicoides* in Florida, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 195-200.
72. Gullec, S., 1972, Bluetongue in Turkey, *CENTO Seminar on the Control and Eradication of Viral Disease in the CENTO Region*, Istanbul, Turkey, Juni 12-17, 1972, 102ff.
73. Hardy, W. T., Price, D. A., 1952, Soremuzzle of sheep, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 120, 23-25.
74. Hare, W. C., Luedke, A. J., Thomas, F. C., Bowen, R. A., Singh, E. L., Eaglesome, M. D., Randall, G. C., Bielanski, A., 1988, Nontransmission of bluetongue virus by embryos from bluetongue virus-infected sheep, *American Journal of Veterinary Research*, 49 (4), 468-472.
75. Havelka, P., 1976 a, Limnologische und systematische Studien an Ceratopogoniden, *Beiträge zur Entomologie*, Berlin, 26, 211-305.
76. Havelka, P., 1976 b, Ceratopogoniden-Emergenz am Breitenbach und am Rohrwiesenbach (1971-1972), *Archiv für Hydrobiologie, Supplementband*, 50, 54-95.
77. Havelka, P., 1978, *Ceratopogonidae*, Aus: Limnofauna europaea (Illies, J., Hrsg.), Stuttgart, S. 441-458.
78. Havelka, P., Caspers, N., 1981, Die Gnitzen (*Diptera*, Nematocera, *Ceratopogonidae*) eines kleinen Waldbaches bei Bonn, *Decheniana, Beihefte*, 25, 11-17.

79. Hawkes, R. A., Kirkland, P. D., Sanders, D. A., Zhang, F., Li, Z., Davis, R. J., Zhang, N., 2000, Laboratory and field studies of an antigen capture ELISA for bluetongue virus, *Journal of Virological Methods*, 85 (1-2), 137-149.
80. Heuschele, W. P., Doyle, L. G., Hooker, P. A., Gottling, K. L., Kawanabe, P. S., 1982, Current status of some important viruses of domestic ruminants in captive wild ruminants in the U.S.A., *Annual proceedings - American Association of Zoo Veterinarians*, 94-121.
81. Hoff, G. L., Hoff, D. M., 1976, Bluetongue and epizootic hemorrhagic disease: a review of these diseases in non-domestic artiodactyles, *Journal of Zoo Animal Medicine*, 7 (2), 26-30.
82. Hooper, P. T., Lunt, R. A., Stanislawek, W. L., 1996, A trial comparing the virulence of some South African and Australian bluetongue viruses, *Australian Veterinary Journal*, 73 (1), 36-37.
83. Hourigan, J. L., Klingsporn, A. L., 1975, Bluetongue: the disease in cattle, *Australian Veterinary Journal*, 51 (4), 170-174.
84. Howell, P. G., 1963, Bluetongue, *Emerging Diseases of Animals*, 61, 111-153.
85. Hübschle, O. J. B., 1979, Exotische Virusseuchen der Wiederkäuer, *Tierärztliche Umschau*, Konstanz, 34, 243-253.
86. Hughes, L., 2000, Biological consequences of global warming: is the signal already apparent?, *Trends in Evolutionary Ecology*, 15 (2), 56-61.
87. Hunt, G. J., Tabachnick, W. J., McKinnon, C. N., 1989, Environmental factors affecting mortality of adult *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae) in the laboratory, *Journal of the American Mosquito Control Association*, 5, 387-391.
88. Hutcheon D., 1881, Fever of epizootic catarrh, *Report - College of Veterinary Surgery 1880*, 12.
89. Hutcheon D., 1902, Malarial catarrhal fever of sheep, *Veterinary Record*, 14, 629-633.
90. Illies, J., 1978, Einleitung, *Limnofauna europaea* (Illies, J., Hrsg.), S. XIII-XVII.
91. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2001, Third Assessment Report of Working Group I (123 Co-ordinating Lead Authors and Lead Authors, 516 Contributing Authors, 21 Review Editors and 300 Expert Reviewers), Shanghai Draft 21-01-2001, <http://www.ipcc.ch/>.
92. Jeanne, I., 2000, Malaria and schistosomiasis: 2 examples using systems of geographical information and teledetection in Madagascar, *Bulletin de la Société de Pathologie Exotique*, 93 (3), 208-214.



93. Jeggo, M. H., Gumm, I. D., Taylor, W. P., 1983, Clinical and serological response of sheep to serial challenge with different bluetongue virus types, *Research in Veterinary Science*, 34, 205-211.
94. Jeggo, M. H., Cortwyn, A. H., Taylor, W. P., 1986, Virulence of bluetongue virus for British sheep, *Research in Veterinary Science*, 42, 24-28.
95. Jennings, D. M., Mellor, P. S., 1988, The vector potential of British *Culicoides* species for bluetongue virus, *Veterinary Microbiology*, 17, 1-10.
96. Jochim, M. M., Luedke, A. J., Bowne, J. G., 1965, The clinical and immunogenic response of sheep to oral and intradermal administration of bluetongue virus, *American Journal of Veterinary Research*, 26, 1254-1260.
97. Johnson, S. J., Hoffman, D., Flanagan, M., Polkinghorne, I. G., Bellis, G. A., 1992 a, Clinico-pathology of Australian bluetongue virus serotypes for sheep, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 737-743.
98. Johnson, S. J., Polkinghorne, I. G., Flanagan, M., Townsend, W. L., 1992 b, The Australian experience: results of a bluetongue vaccination program, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 868-873.
99. Jones, R. H., Foster, N. M., 1971, Transovarial transmission of bluetongue virus unlikely for *Culicoides variipennis*, *Mosquito news*, 31, 434-437.
100. Jones, R. H., Foster, N. M., 1978, Heterogeneity of *Culicoides variipennis* field populations to oral infection with bluetongue virus, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 27, 178-183.
101. Jones, R. H., Luedke, A. J., Walton, T. E., Metcalf, H. E., 1981, Bluetongue in the United States, an entomological perspective toward control, *World Animal Review*, Rome, 38, 2-8.
102. Jones, R. H., Schmidtman, E. T, Foster, N. M., 1983, Vector-competence studies for bluetongue and epizootic hemorrhagic disease viruses with *Culicoides venustus* (*Ceratopogonidae*), *Mosquito News*, 43, 184-186.
103. Kettle, D. S., 1984, *Ceratopogonidae* (biting midges), Aus: *Medical and Veterinary Entomology*, London, Croom Helm, S. 137-158.
104. Kettle, D. S., 1995, *Ceratopogonidae* (biting midges), Aus: *Medical and Veterinary Entomology* (Kettle, D. S., Hrsg.), CAB International, S. 152-176.

105. Kettle, D. S., Edwards, P. B., Barnes, A., 1998, Factors affecting numbers of *Culicoides* in truck traps in coastal Queensland, *Medical and Veterinary Entomology*, 12, 367-377.
106. Komarov, A., Goldsmit, L., 1951, A bluetongue-like disease of cattle and sheep in Israel, *Refuah Veterinarith*, 8, 96-100.
107. Koumbati, M., Mangana, O., Nomikou, K., Mellor, P. S., Papadopoulos, O. , 1999, Duration of bluetongue viraemia and serological responses in experimentally infected European breeds of sheep and goats, *Veterinary Microbiology*, 64, 277-285.
108. Kowalik T. F., Li, J. K., 1991, Bluetongue virus evolution: sequence analyses of the genomic S1 segments and major core protein VP7, *Virology*, 181 (2), 749-755.
109. Kremer, M., 1965, Du Genre *Culicoides* (Latreille), *Encyclopedie Entomologique*, 39.
110. Lawman, M. J. P., 1979, Observations on the pathogenesis of bluetongue virus infections in sheep, PhD thesis, University of Surrey, England.
111. Lemmer, F., 1999, GIS-Beschreibung,  
<http://staff-www.uni-marburg.de/~lemmer/giscoord.html>.
112. Liebermann, H., 1985, Zur Taxonomie der Vertebratenviren, *Monatshefte für Veterinärmedizin*, 40 (1), 61-68.
113. Lindgren, E., Tälleklint, L., Polfeldt, T., 2000, Impact of climatic change on the northern latitude limit and population density of the disease-transmitting European tick, *Ixodes ricinus*, *Environmental Health Perspectives*, 108, 119-123.
114. Lindgren, E., Gustafson, R., 2001, Tick-borne encephalitis in Sweden and climate change, *The Lancet*, 358, 16-18.
115. Lopez, A.C., Sanchez Botija, C., 1958, L'epizootie de fièvre catarrhale ovine en Espagne, *Bulletin, Office International des Epizooties*, 50, 65-93.
116. Luedke, A. J., Jochim, M. M., Bowne, J. G., 1965, Preliminary bluetongue transmission with the sheep ked, *Melophagus ovinus* (L.), *Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Science*, 29, 229-231.
117. Luedke, A. J., 1970, Distribution of virus in blood components during viremia of bluetongue, *Proceedings, Annual Meeting, United States Animal Health Association*, 74, 9-21.
118. Luedke, A. J., Walton, T. E., Jones, R. H., 1975, Detection of bluetongue virus in bovine semen, *Proceedings of the 20<sup>th</sup> World Veterinary Congress*, 240.
119. Luedke, A. J., 1985, Effect of bluetongue virus on reproduction in sheep and cattle, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 71-78.

120. MacLachlan, N. J., Osburn, B. I., 1983, Bluetongue virus-induced hydranencephaly in cattle, *Veterinary Pathology*, 20, 263.
121. MacLachlan, N. J., Barratt-Boyes, S. M., Brewer, A. W., Scott, J. L., 1992, Bluetongue virus infection of cattle, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 725-736.
122. MacLachlan, N. J., Nunamaker, R. A., Katz, J. B., Sawyer, M. M., Akita, G. Y., Osburn, B. I., Tabachnick, W. J., 1994, Detection of bluetongue virus in the blood of inoculated calves: comparison of virus isolation, PCR assay, and in vitro feeding of *Culicoides variipennis*, *Archives of Virology*, 136 (1-2), 1-8.
123. Malloch, J. R., 1917, A preliminary classification of *Diptera*, exclusive of pupipara, based upon larval and pupal characters, with keys to imagines in certain families, *Bulletin, Illinois State Laboratory of Natural History*, 12, 281-284.
124. McColl, K. A., Gould, A. R., Pritchard, L. I., Melville, L., Bellis, G., 1994, Phylogenetic characterisation of bluetongue viruses from naturally-infected insects, cattle and sheep in Australia, *Australian Veterinary Journal*, 71, 102-105.
125. McCrory, B. R., Foster, N. M., Bay, R. C., 1959, Virucidal effect of some chemical agents on bluetongue virus, *American Journal of Veterinary Research*, Chicago, 20, 665-669.
126. McKercher, D. G., McGowan, B., Howarth, J. A., Saito, J. K., 1953, A preliminary report on the isolation and identification of bluetongue virus from sheep in California, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 122, 300-301.
127. Megahed, M. M., 1956, Anatomy and histology of the alimentary tract of the female of the biting midge *Culicoides nubeculosus* Meigen (*Dipt: Heleidae = Cerat.*), *Parasitology*, 46, 22-47.
128. Meiswinkel, R., Nevill, E. M., Venter, G. J., 1994, Vectors: *Culicoides* spp., *Invertebrate taxonomy (Australian journal of zoology)*, 38, 68-89.
129. Meiswinkel, R., 1998, The 1996 outbreak of African horse sickness in South Africa - the entomological perspective, Aus: African Horse Sickness (Mellor, P. S., Baylis, M., Hamblin, C., Calisher, C. H., Mertens, P. P. C., Hrsg.), *Archives of Virology Supplement*, 14, Springer, Wien, 69-83.
130. Meiswinkel, R., Baylis, M., 1998, Morphological confirmation of the separate species status of *Culicoides (Avaritia) nudipalpis* Delfinado, 1961 and *C. (A.) imicola* Kieffer,

- 1913 (*Diptera, Ceratopogonidae*), *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 65, 9-16.
131. Mellor, P. S., Boorman, J., Jennings, M., 1975, The multiplication of African horse sickness virus in two species of *Culicoides* (*Diptera: Ceratopogonidae*), *Archives of Virology*, 47, 351-356.
132. Mellor, P. S., Pitzolis, G., 1979, Observations on breeding sites and light trap collections of *Culicoides* during an outbreak of bluetongue in Cyprus, *Bulletin of Entomological Research*, 69, 229-234.
133. Mellor, P. S., Boorman, J., 1980, Multiplication of bluetongue virus in *Culicoides nubeculosus* (Meigen) simultaneously infected with the virus and the microfilariae of *Onchocerca cervicalis* (Raillet and Henry), *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 74, 463-469.
134. Mellor, P. S., Jennings, M. , 1980, Replication of Eubenangee virus in *Culicoides nubeculosus* Mg. and *Culicoides Variipennis* Coq., *Archives of Virology*, 63, 203-208.
135. Mellor, P. S., Boorman, J. P. T., Wilkinson, P. J., Martinez-Gomez, F., 1983, Potential vectors of bluetongue and African horse sickness viruses in Spain, *Veterinary Record*, 112, 229-230.
136. Mellor, P. S., Jennings, D. M., 1986, British vectors of bluetongue virus, Orbiviruses and Birnaviruses, Proceedings of the Double-Stranded RNA Virus Symposium (Roy, P., Osburn, B., Hrsg.), NERC Institute, Oxford, S. 12-21.
137. Mellor, P. S., 1990, The replication of bluetongue virus in *Culicoides* vectors, *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 162, 143-161.
138. Mellor, P. S., Boned., J., Hamblin, C., Graham, S., 1990, Isolations of African horse sickness virus from vector insects made during the 1988 epizootic in Spain, *Epidemiology and Infection*, 105, 447-454.
139. Mellor, P. S., 1991, African horse sickness in Europe, Proceedings of a Meeting of the Society for Veterinary Epidemiology and Preventative Medicine, 17.-19. April, London, (Thrusfield, M. V., Hrsg.), S. 27-32.
140. Mellor, P. S., 1992, *Culicoides* as potential orbivirus vectors in Europe, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 278-283.
141. Mellor, P. S., 1993, *Culicoides*; do vectors respect national boundaries?, *The British Veterinary Journal*, 149 (1), 5-8.

142. Mellor, P. S., Boorman, J., 1995, The transmission and geographical spread of African horse sickness and bluetongue viruses, *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 89, (1), 1-15.
143. Mellor, P. S., 1996, *Culicoides*: vectors, climate change and disease risk, *Veterinary Bulletin*, 66, 301-306.
144. Mellor, P. S., Rawlings, P., Baylis, M., Wellby, M. P., 1998, Effect of temperature on African horse sickness virus infection in *Culicoides*, Aus: African Horse Sickness (Mellor, P. S., Baylis, M., Hamblin, C., Calisher, C. H., Mertens, P. P. C., Hrsg.), *Archives of Virology Supplement*, 14, Springer, Wien, 155-163.
145. Mellor, P. S., Boorman, J., Baylis, M., 2000, *Culicoides* biting midges: Their role as arbovirus vectors, *Annual Review of Entomology*, 45, 307-340.
146. Mitchell, C. J., 1983, Mosquito vector competence and arboviruses, Aus: Current Topics in Vector Research (Harris, K. F., Hrsg.), Praeger, S. 63-92.
147. Mo, C. L., Thompson, L. H., Homan, E. J., Oviedo, M. T., Greiner, E. C., González, J., Sáenz, M. R., 1994, Bluetongue virus isolations from vectors and ruminants in Central America and the Caribbean, *American Journal of Veterinary Research*, 55, 211-215.
148. Molyneux, D. H., 2001, Vector-borne infections in the tropics and health policy issues in the twenty-first century, *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 95 (3), 233-238.
149. Moulton, J. E., 1961, Pathology of bluetongue of sheep in California, *Journal of the American Veterinary Medical Association*, 138, 493-498.
150. Müller-Westermeier, G., 1995, Numerisches Verfahren zur Erstellung klimatologischer Karten, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, 193, 1-18.
151. Müller-Westermeier, G., Bericht vom 9. Februar 2001, Das Jahr 2000 als wärmstes Jahr des Jahrhunderts in Deutschland, <http://www.dwd.de/research/klis/produkte/monitoring/jahr2000.htm>.
152. Mullen, G. R., Jones, R. H., Braverman, Y., Nusbaum, K. E., 1985, Laboratory infections of *Culicoides debilipalpis* and *C. stellifer* (Diptera: Ceratopogonidae) with bluetongue virus, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 239-243.
153. Mullen, G. R., Anderson, R. R., 1998, Transmission of orbiviruses by *Culicoides* Latreille species (*Ceratopogonidae*) among cattle and white-tailed deer in the southeastern

- United States, Abstracts Volume, Fourth International Congress of Dipterology (Ismay, J. W., Hrsg.), Oxford International, Oxford, S. 155-156.
154. Mullens, B. A., Holbrook, F. R., 1991, Temperature effects on the gonotrophic cycle of *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae), *Journal of the American Mosquito Control Association*, 7, 588-591.
155. Mullens, B. A., Tabachnick, W. J., Holbrook, F. R., Thompson, L. H., 1995, Effects of temperature on virogenesis of bluetongue virus, serotype 11 in *Culicoides variipennis sonorensis*, *Medical and Veterinary Entomology*, 9, 71-76.
156. Muller, M. J., Standfast, H. A., St. George, T. D., Cybinski, D. H., 1982, *Culicoides brevitarsis* (Diptera: Ceratopogonidae) as a vector of arboviruses in Australia, Arbovirus Research in Australia, Proceedings of the Third Symposium (St. George, T. D. und Kay, B. H., Hrsg.), The Commonwealth and Industrial Research Organization and Queensland Institute of Medical Research, Brisbane, S. 232-234.
157. Muller, M. J., 1985, Experimental infection of *Culicoides brevitarsis* from south-east Queensland with three serotypes of bluetongue virus, *Australian Journal of Biological Sciences*, 38, 73-77.
158. Muller, M. J., 1987, Transmission and in vitro excretion of bluetongue virus serotype 1 by inoculated *Culicoides brevitarsis* (Diptera: Ceratopogonidae), *Journal of Medical Entomology*, 24, 206-211.
159. Murray, M. D., 1975, Potential vectors of bluetongue in Australia, *Australian Veterinary Journal*, 51, 216-220.
160. Murray, M. D., 1987, Local dispersal of the biting midge *Culicoides brevitarsis* Kieffer (Diptera: Ceratopogonidae) in south-eastern Australia, *Australian Journal of Zoology*, 35, 559-573.
161. Murray, M. D., 1991, The seasonal abundance of female biting-midges, *Culicoides brevitarsis* Kieffer (Diptera: Ceratopogonidae), in coastal south-eastern Australia, *Australian Journal of Zoology*, 39, 333-342.
162. Neitz, W. O., 1948, Immunological studies on bluetongue in sheep, *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, 23, 93-136.
163. Nelson, R. L., Bellamy, R. E., 1971, Patterns of flight activity of *Culicoides variipennis* (Coquillett) (Diptera: Ceratopogonidae), *Journal of Medical Entomology*, 8, 283-291.
164. Nevill, E. M., 1967, Biological studies on some South African *Culicoides* species (Diptera, Ceratopogonidae) and the morphology of their immature stages, MSc Thesis, University of Pretoria, Pretoria.

165. Nevill, E. M., 1971, Cattle and *Culicoides* biting midges as possible overwintering hosts of bluetongue virus, *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 38 (2), 65-72.
166. Nevill, E. M., 1978, The use of cattle to protect sheep from bluetongue infection, *Journal of the South African Veterinary Association*, Jul, 49 (2), 129-130.
167. Nevill, E. M., Venter, G. J., Edwardes, M., 1992, Potential *Culicoides* vectors of livestock orbiviruses in South Africa, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 306-313.
168. Nielsen, B. O., Christensen, O., 1975, A mass attack by the biting midge *Culicoides nubeculosus* (Mg.) (*Diptera, Ceratopogonidae*) on grazing cattle in Denmark, A new aspect of sewage discharge, *Nordisk Veterinärmedicin*, 27, 365-372.
169. Nunamaker, R. A., Sieburth, P. J., Dean, V. C., Wigington, J. G., Nunamaker, C. E., Mecham, J. O., 1990, Absence of transovarial transmission of bluetongue virus in *Culicoides variipennis*: immunogold labelling of bluetongue virus antigen in developing oocytes from *Culicoides variipennis* (Coquillett), *Comparative Biochemistry and Physiology*, 96 A, 19-31.
170. Odeon, A. C., Giri, S. N., Osburn, B. I., 1992, Histamine and arachidonic acid metabolite levels during experimental infection of cattle with bluetongue virus serotype 11, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 802.
171. OIE (Office International Des Èpizooties), 1994, World Animal Health In 1994, *Reports on the animal health status and disease control methods and List A disease outbreaks-statistics*, 410-721.
172. OIE (Office International Des Èpizooties), 1996, World Animal Health In 1996, *Reports on the animal health status and disease control methods and List A disease outbreaks-statistics*, 14-712.
173. OIE (Office International Des Èpizooties), 1997, World Animal Health In 1997, *Reports on the animal health status and disease control methods and List A disease outbreaks-statistics*, 13-719.
174. OIE (Office International Des Èpizooties), 1998, World Animal Health In 1998, *Reports on the animal health status and disease control methods and List A disease outbreaks-statistics*, 13-683.

175. Olbrich, S., 1987, Untersuchung zur Biologie von Gnitzen der Gattung *Culicoides* Latreille (*Diptera: Ceratopogonidae*) an Weiderindern in Norddeutschland. Ergebnisse aus dem Freiland und dem Laboratorium, Dissertation an der Tierärztlichen Hochschule Hannover.
176. Osburn, B. I. , Silverstein, A. M., Prendergast, R. A., 1971, Experimental viral-induced congenital encephalopathies, I. Pathology of hydranencephaly and porencephaly caused by bluetongue vaccine virus, *Laboratory Investigation*, 25, 197.
177. Osburn, B. I., McGowan, B., Heron, B., Loomis, E., Bushnell, R., Stott, J., Utterback, W., 1981, Epizootologic study of bluetongue: virologic and serologic results, *American Journal of Veterinary Research*, 42, 884.
178. Osburn, B. I., 1994, The impact of bluetongue virus on reproduction, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 17, 189-196.
179. Owen, N. C., 1964, Investigations into the pH stability of bluetongue virus and its survival in mutton and beef, *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 31, 109-118.
180. Parmesan, C., Ryrholm, N., Stefanescu, C., Hill, J. K., Thomas, C. D., Descimon, H., Huntley, B., Kaila, L., Kullberg, J., Tammaru, T., Tennent, W. J., Thomas, J. A., Warren, M., 1999, Poleward shifts in geographical ranges of butterfly species associated with regional warming, *Nature*, 399, 579-583.
181. Parsonson, I. M., 1990, Pathology and pathogenesis of bluetongue infections, *Current Topics in Microbiology and Immunology*, 162, 119-141.
182. Parsonson, I. M., 1992, Overview of bluetongue virus infection of sheep, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 718.
183. Parsonson, I. M., Thompson, L. H., Walton, T. E., 1994, Experimentally induced infection with bluetongue virus serotype 11 in cows, *American Journal of Veterinary Research*, 55 (11), 1529-1534.
184. Pedgley, D. E., Tucker, M. R., 1977, Possible spread of African horse sickness on the wind, *Journal of Hygiene* (London), Oct, 79 (2), 279-298.
185. Pini, A., 1976, A study on the pathogenesis of bluetongue: replication of the virus in the organs of infected sheep, *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 43, 159-164.
186. Rawlings, P., Capela, R., Pro, M. J., Ortega, M. D., Pena, I., Rubio, C., Gasca, A., Mellor, P. S., 1998, The relationship between climate and the distribution of *Culicoides imicola* in Iberia, Aus: African Horse Sickness (Mellor, P. S., Baylis., M., Hamblin, C., Calis-



- her, C. H., Mertens, P. P. C., Hrsg.), *Archives of Virology Supplement*, 14, Springer, Wien, S. 93-102.
187. Richtlinie 82/894/EWG des Rates vom 21. 12. 1982 über die Mitteilung von Viehseuchen in der Gemeinschaft, ABl. EG Nr. L 378, S. 58 in der jeweils geltenden Fassung.
188. Richtlinie 2000/75/EG des Rates vom 20. November 2000 mit besonderen Bestimmungen für Maßnahmen zur Bekämpfung und Tilgung der Blauzungenkrankheit, ABl. Nr. L 327, S. 74.
189. Roeder, P. L., Taylor, W. P., Roberts, D. H., Wood, L., Jeggo, M. H., Gard, G. P., Corteyn, M., Graham, S., 1992, Failure to establish congenital bluetongue virus infection by injecting cows in early pregnancy, Aus: *Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses*, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 760.
190. Roeder, P. L., 2001, Mitteilung des Animal Health Officer (Virology), Animal Health Service, Animal Production and Health Division, Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, an die International Society for Infectious Diseases, <http://www.isis.org>.
191. Samal, S. K., El Hussein, A., Holbrook, F. R., Beaty, B. J., Ramig, R. F., 1987, Mixed infection of *Culicoides variipennis* with bluetongue virus serotypes 10 and 17: evidence for high frequency of reassortment in the vector, *Journal of General Virology*, 68, 2319-2329.
192. Sapre, S. N., 1964, An outbreak of bluetongue in goats and sheep in Maharashtra State, *Indian Veterinary Review*, 15, 69-71.
193. Sarwar, M. M., 1962, A note on bluetongue in sheep in West Pakistan, *Pakistan Journal of Animal Science*, 1, 1-2.
194. Sawyer, M. M., Schore, C. E., Osburn, B. I., 1992, A revised certification protocol for bull semen for bluetongue virus-free status, Aus: *Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses*, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 941.
195. Schulze-Neuhoff, H., Dipl. Met.,  
<http://homepages.compuserve.de/HubWebcam/Kapitel1/kapitel1-33.htm>.
196. Scott, J. L., Osburn, B. I., Alexander, L., 1985, *Ornithodoros coriaceus* (pajaroello tick) as a vector of bluetongue virus, *American Journal of Veterinary Research*, 46, 1197-1199.
197. Seifert, H., 1962, Bluetongue in a Corridale sheep flock in the North Peruvian Cordillera Mountains, *Veterinärmedizinische Nachrichten*, 3, 161-166.
198. Sellers, R. F., 1975, Bluetongue in Cyprus, *Australian Veterinary Journal*, 51, 198-203.

199. Sellers, R. F., Pedgley, D. E., Tucker, M. R., 1978, Possible windborne spread of bluetongue to Portugal, June-July 1956, *Journal of Hygiene*, London, 81 (2), 189-196.
200. Sellers, R. F., 1980, Weather, host and vector - their interplay in the spread of insect-borne animal virus diseases, *Journal of Hygiene* (Cambridge), 85, 65.
201. Sellers, R. F., 1992, Weather, *Culicoides*, and the distribution and spread of bluetongue and African horse sickness viruses, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 284-290.
202. Sellers, R. F., Mellor, P. S., 1993, Temperature and the persistence of viruses in *Culicoides* spp. during adverse conditions, *Revue Scientifique et Technique de l' Office International des Epizooties*, 12, 733-755.
203. Sendow, I., Sukarsih, E., Soleha, B. J., Erasmus, B. J., Daniels, P. W., 1993, Isolation of bluetongue virus serotypes 21 from *Culicoides* spp. in Indonesia, *Veterinary Microbiology*, 36, 349-353.
204. Service, M. W., 1969, Studies on the biting habits of *Culicoides impunctatus* Goetghebuer, *C. obsoletus* (Meigen) and *C. punctatus* (Meigen) (*Diptera: Ceratopogonidae*) in South England, *Proceedings, Royal Entomological Society of London*, (A) 44, 1-10.
205. Sosna, D., 1999, Von der Erde zur Karte, <http://www.informatik.uni-leipzig.de/~sosna/karten/ek.html>.
206. Spreull, J., 1902 a, Report from Veterinary Surgeon Spreull on the result of his experiments with malarial catarrhal fever of sheep, *Agricultural Journal*, Cape of Good Hope, 20, 469-477.
207. Spreull, J., 1902 b, Second report from Veterinary Surgeon Spreull on the result of his experiments with malarial catarrhal fever of sheep, *Agricultural Journal*, Cape of Good Hope, 20, 530-534.
208. Spreull, J., 1905, Malarial catarrhal fever (bluetongue) of sheep in South Africa, *Journal of Comparative Pathology and Therapeutics*, 18, 321-337.
209. Srivastava, A., Nagpal, B. N., Saxena, R., Sharma, V. P., 1999, Geographic information system as a tool to study malaria receptivity in Nadiad Taluka, Kheda district, Gujarat, India, *Southeast Asian Journal of Tropical Medicine and Public Health*, 30 (4), 650-656.
210. Stair, E. L., 1968, The pathogenesis of bluetongue in sheep: a study by immunofluorescence and histopathology, PhD thesis, Texas A&M University, USA.
211. Standfast, H. A., Dyce, A. L., 1972, Arthropods biting cattle during an epizootic of ephemeral fever in 1968, *Australian Veterinary Journal*, 48, 77-80.

212. Standfast, H. A., Dyce, A. L., St. George, T. D., Cybinski, D. H., Muller, M. J., 1979, Vectors of a bluetongue virus in Australia, *Arbovirus Research in Australia, Proceedings of the Second Symposium* (St. George, T. D., French, E. L., Hrsg. ), The Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization and Queensland Institute of Medical Research, Brisbane, S. 20-28.
213. Standfast, H. A., Dyce, A. L., Muller, M. J., 1985, Vectors of bluetongue virus in Australia, *Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses* (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 177-186.
214. St. George, T. D., Standfast, H. A., Cybinski, D. H., 1978, The isolation of a bluetongue virus from *Culicoides* collected in the Northern Territory of Australia, *Australian Veterinary Journal*, 54, 153-154.
215. St. George, T. D., Muller, M. J., 1984, The isolation of a bluetongue virus from *Culicoides brevitarsis*, *Australian Veterinary Journal*, 61, 95.
216. Sugiyama, K., Bishop, D. H., Roy, P., 1982, Analysis of the genomes of bluetongue viruses recovered from different states of the United States and at different times, *American Journal of Epidemiology*, 115 (3), 332-347.
217. Sutherst, R. W., 1990, Impact of climate change on pests and diseases in Australasia, *Search*, 21, 230-232.
218. Svehag, S.-E., Leendertsen, L., Gorham, J. R., 1966, Sensitivity of bluetongue virus to lipid solvents, trypsin and pH changes and its serological relationship to arboviruses, *Journal of Hygiene* (Cambridge), 64, 339-355.
219. Tabachnick, W. J., 1991, Genetic control of oral susceptibility to infection of *Culicoides variipennis* with bluetongue virus, *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, 45, 666-671.
220. Tabachnick, W. J., 1996, *Culicoides variipennis* and bluetongue-virus epidemiology in the United States, *Annual Review of Entomology*, 41, 23-43.
221. Tamer, Y., 1949, Bluetongue of sheep in Hatay (Turkey) and losses over five years, *Turk Veteriner Hekimleri Dernegi Dergisi* (Ankara), 19, 542-548.
222. Tanya, V. N., Greiner, E. C., Gibbs, E. P. J., 1992, Evaluation of *Culicoides insignis* (*Diptera: Ceratopogonidae*) as a vector of bluetongue virus, *Veterinary Microbiology*, 32, 1-14.
223. Theiler, A., 1906, Bluetongue in sheep, *Annual Report, Director of Agriculture, Transvaal for 1904-105*, 110-121.

224. Theiler, A., 1908, The inoculation of sheep against bluetongue and the results in practice, *Veterinary Journal*, 64, 600-607.
225. Tierseuchengesetz, Fassung der Bekanntmachung vom 20.12.1995, Bundesgesetzblatt Teil I, S. 2038.
226. Tonnier, A., 2001, Hypsometrischer Formenwandel von Pflanzen und Pflanzengesellschaften, <http://www.rzuser.uni-heidelberg.de/~atonnier/vegetation.pdf>, 7-8.
227. Townley, P., 1984, Preferential landing and engorging sites of *Culicoides* species landing on a horse in Ireland, *Equine Veterinary Journal*, 16, 117-120.
228. Trainer, D. O., Jochim, M. M., 1969, Serologic evidence of bluetongue in wild ruminants of North America, *American Journal of Veterinary Research*, 30, 2007-2011.
229. Turell M. J., Rossignol, P. A., Spielmore, A., Rossi, C. A., Bailey, C. C., 1984, Enhanced arboviral transmission by mosquitoes that concurrently ingest microfilariae, *Science*, 225, 1039-1041.
230. Vaughan, J. A., Turner Jr, E. C., 1987, Development of immature *Culicoides variipennis* (Diptera: Ceratopogonidae) from Saltville, Virginia, at constant laboratory temperatures, *Journal of Medical Entomology*, 24, 390-395.
231. Venter, G. J., Hill, E., Pajor, I. T. P., Nevill, E. M., 1991, The use of a membrane feeding technique to determine the infection rate of *Culicoides imicola* (Diptera: Ceratopogonidae) for 2 bluetongue virus serotypes in South Africa, *Onderstepoort Journal of Veterinary Research*, 58, 5-9.
232. Venter, G. J., Paweska, J. T., Van Duk, A. A., Mellor, P. S., Tabachnick, W. J., 1998, Vector competence of *Culicoides bolitinos* and *C. imicola* for South African bluetongue virus serotypes 1, 3 and 4, *Medical and Veterinary Entomology*, 12, 378-385.
233. Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen vom 23. 5. 1991, Bundesgesetzblatt Teil I, S. 1178.
234. Verordnung über anzeigepflichtige Tierseuchen vom 18. 4. 2000, Artikel 10, Bundesgesetzblatt Teil I, S. 531.
235. Vosdingh, R. A, Trainer, D. und Easterday, B. C., 1968, Experimental bluetongue disease in white-tailed deer, *Canadian Journal of Comparative Medicine and Veterinary Science*, 32, 382-387.
236. Waldvogel, A. S., Anderson, G. A., Phillips, D. L., Osburn, B. I., 1992 a, Infecion of bovine fetuses at 120 days' gestation with virulent and avirulent strains of bluetongue virus serotype 11, *Comparative Immunology, Microbiology and Infectious Diseases*, 15, 53.

237. Waldvogel, A. S., Anderson, G. A., Osburn, B. I., 1992 b, Strain-dependent variations in the pathogenesis of fetal infection with bluetongue virus serotype 11, Aus: Bluetongue, African horse sickness and related Orbiviruses, Proceedings of the Second International Symposium, 1991, Paris (Walton, T. E. und Osburn, B. I., Hrsg.), CRC Press, S. 751.
238. Waldvogel, A. S., Anderson, G. A., Phillips, D. L., Osburn, B. I., 1992 c, Association of virulent and avirulent strains of bluetongue virus serotype 11 with premature births of late-term bovine fetuses, *Journal of Comparative Pathology*, 106, 333.
239. Walker, A. R., Davies, F. G., 1971, A preliminary survey of the epidemiology of bluetongue in Kenya, *Journal of Hygiene, Cambridge*, 69, 47-60.
240. Walker, A. R., 1977, Seasonal fluctuation of *Culicoides* species (*Diptera: Ceratopogonidae*) in Kenya, *Bulletin of Entomological Research*, 67, 217-233.
241. Ward, M. P., 1996, Climatic factors associated with the infection of herds of cattle with bluetongue viruses, *Veterinary Research Communications*, 20, 273-283.
242. Wellby, M. P., Baylis, M., Rawlings, P., Mellor, P. S., 1996, Effect of temperature on virogenesis of African horse sickness virus in *Culicoides variipennis sonorensis* (*Diptera: Ceratopogonidae*) and its significance in relation to the epidemiology of the disease, *Bulletin of Entomological Research*, 86, 715-720.
243. WHO, Vectors of diseases, Part 1, *Weekly epidemiological record*, No. 25, 22th June 2001, 76<sup>th</sup> year, (<http://www.who.int/wer>), 190.
244. Wiesner, E., Ribbeck, R.(Hrsg.), 1991, Wörterbuch der Veterinärmedizin, dritte Auflage, Gustav Fischer Verlag, S. 435.
245. Wittman, E. J., 2000, Temperature and the transmission of arboviruses by *Culicoides* biting midges, PhD Thesis, University of Bristol.
246. Wittmann, E. J., Baylis, M., 2000, Climate Change: Effects on *Culicoides*-Transmitted Viruses and Implications for the UK, *The Veterinary Journal*, 160 (2), 107-117.
247. Wittmann, E. J., Mellor, P. S., Baylis, M., 2001, Using climate data to map the potential distribution of *Culicoides imicola* (*Diptera: Ceratopogonidae*) in Europe, *Revue Scientifique et Technique de l'Office International des Epizooties*, 20 (3), 731-740.
248. Wirth, W. W., Dyce, A. L., 1985, The current taxonomic status of the *Culicoides* vectors of bluetongue viruses, Aus: Bluetongue and Related Orbiviruses (Barber, T. L., Jochim, M. M., Osburn, B. I., Hrsg.), Alan R. Liss, Inc., New York, *Progress in Clinical and Biological Research*, 178, 151-164.

249. Zhdanova, T. G., 1975, The activity of attack of blood-sucking biting midges (*Diptera*, *Ceratopogonidae*) in relation to meteorological conditions in the left-band Polesie of the Ukraine, *Vestnik Zoologii*, 6, 58-64.

## 11 Verzeichnis der Tabellen

Im Text:

1. *Culicoides* spp., die mit BTV in Verbindung gebracht wurden
2. Näherungswerte der Dauer der EIP für verschiedene Serotypen von BTV in *C. variipennis sonorensis*, die bei unterschiedlichen Temperaturen gehalten wurden
3. Entwicklungszeiten für die Aufzucht von *C. nubeculosus* bei verschiedenen Temperaturen
4. Entwicklungszeiten (Näherungswerte) von *C. nubeculosus* und die Anzahl der Vorstadien, die bis zum Adulentalter überleben und dann empfänglich für BTV 10 sind. Ausgangspunkt sind jeweils 100 Eier bei verschiedenen Aufzuchttemperaturen
5. Näherungswerte der mittleren EIP für AHSV 8 in *C. imicola* bei verschiedenen Haltungstemperaturen
6. Durchschnittswerte (+/- SE) für die klimatischen Variablen und Ergebnisse der Regressionsanalyse für die Verbreitung von *C. imicola* auf der iberischen Halbinsel
7. Einschätzung der Verlässlichkeit beobachteter und projizierter klimatischer Veränderungen
14. Auswahl der Orte für die Detailkarten
15. Auswahl der Stationen und Monate für die Monatsdiagramme
18. Wärmste Orte - Rangliste
19. Viehdichten
20. Mittlere Windstärken

In Anhang 1:

8. Deutsche Flughäfen
9. Orte, die nach dem Kriterium „Höhenstufen“ ausgesucht wurden
10. Orte, die nach dem Kriterium „Flughafennähe“ ausgesucht wurden
11. Orte, die aufgrund ihrer klimabegünstigten Lage ausgesucht wurden
12. Ausgewählte Orte (Gesamtaufstellung)
13. Postleitzahlgebiete mit Angabe der Wärmezone
16. Monatlicher Niederschlag im Jahr 2000 und Jahresgesamtniederschlag 2000
17. Wärmste Zone Deutschlands (Zone A)
21. Risikozone 1
22. Risikozone 2
23. Risikozone 3

## 12 Verzeichnis der Karten

In Anhang 2:

1. Zur Auswertung ausgewählte Klimastationen nach den Kriterien Flughafennähe, Lage (Höhe ü. N.N.), sowie Klima; Deutschland
2. Rinderbesatzdichte in Deutschland
3. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Januar 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
4. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Februar 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
5. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im März 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
6. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im April 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
7. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Mai 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
8. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Juni 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
9. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Juli 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
10. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im August 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
11. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im September 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
12. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Oktober 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
13. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im November 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
14. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Dezember 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
15. Durchschnittliche Maximaltemperaturen größer oder gleich 12, 5° C im April und im Oktober 2000; Deutschland/Ausschnitt
16. Durchschnittliche Jahresmaximaltemperaturen im Jahr 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland



17. Höchste durchschnittliche Jahresmaximaltemperaturen im Jahr 2000 mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland/Ausschnitt
18. Zur Auswertung ausgewählte Klimastationen nach den Kriterien Flughafennähe, Lage (Höhe ü. N.N.), sowie Klima; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
19. Rinderbesatzdichte mit überlagerter Zone A (als Postleitzahlgebiete); Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
20. Wärmezonen 1 und 2, als Postleitzahlgebiete dargestellt; Deutschland
21. Simulation einer globalen Erwärmung (Jahresdurchschnitt 2000 +2° C an jeder Rasterzelle) mit Isolinien in 0,5° Celsius-Schritten; Deutschland
22. Niederschlag im Jahr 2000; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
23. Durchschnittliche Jahresmaximaltemperaturen im Jahr 2000 mit Isolinien in 1° Celsius-Schritten; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
24. Wärmezone A, als Postleitzahlgebiete dargestellt; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
25. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Jahr 1990; Deutschland/Ausschnitt
26. Durchschnittliche Maximaltemperaturen im Jahr 1993; Deutschland/Ausschnitt
27. Simulation einer globalen Erwärmung (Jahresdurchschnitt 2000 +2° C an jeder Rasterzelle) mit Isolinien in 1° Celsius-Schritten; Nordrhein-Westfalen, Hessen, Rheinland-Pfalz, Saarland, Baden-Württemberg
28. Risikozonen; Orte mit höchstem und hohem Risiko beschriftet; Deutschland/Ausschnitt

## 13 Verzeichnis der Abbildungen

Im Text:

1. Hypothetische Barrieren bei der Infektion hämatophager Insekten mit Arboviren
2. Zonen
3. Europa, Isotherme
4. Einfluss der Temperatur auf die Übertragung von BTV (und AHSV) durch *Culicoides*

In Anhang 3:

5. Höhenlage der Orte der Zonen 1 und 0 im Vergleich
6. Tägliche Maximaltemperaturen im Jahr 2000; Orte der Zone 1 der Übersichtskarte
7. Tägliche Maximaltemperaturen im Jahr 2000; Orte der Zone A der Detailkarte
8. Windstärken von April bis Oktober 2000
9. Tägliche Maximaltemperaturen im August 1990
10. Tägliche Maximaltemperaturen im Juli 1991
11. Tägliche Maximaltemperaturen im August 1991
12. Tägliche Maximaltemperaturen im August 1992
13. Tägliche Maximaltemperaturen im Juli 1994
14. Tägliche Maximaltemperaturen im Juli 1995
15. Tägliche Maximaltemperaturen im August 1997
16. Tägliche Maximaltemperaturen im Juni 2000
17. Simulation einer globalen Erwärmung / Jahr 2000 + 2° C in drei der wärmsten Orte Deutschlands
18. Projezierte Erwärmung im Juni 2000 / + 2° C in drei der wärmsten Orte Deutschlands

## **Danksagung**

Herrn Professor Dr. L. H. Wieler vom Institut für Mikrobiologie und Tierseuchen der Freien Universität Berlin möchte ich sehr herzlich für die Betreuung meiner Arbeit danken. Ebenso bedanke ich mich für die Betreuung durch Herrn Dr. M. Kramer von der Bundesforschungsanstalt für Viruskrankheiten in Wusterhausen.

Bei der Firma ESRI bedanke ich mich vielmals dafür, dass sie mir ihr Programm „ArcView“, ein Geographisches Informationssystem, kostenlos zur Verfügung gestellt hat.

Mein besonderer Dank gilt meinem Mann Hans Peter Koslowsky, der mich unterstützt und meine geographischen Fachfragen immer geduldig beantwortet hat. Für die seelische Unterstützung bedanke ich mich bei meinen Eltern und meinem Bruder Martin, der mir erklärt hat, wie eine IDW-Interpolation funktioniert.

Fürs Korrekturlesen bedanke ich mich vor allem bei Elisabeth Knein sowie Dr. Swantje Arndt. Für Tipps im meteorologischen Bereich danke ich Dr. Michael Herzog von der Universität in Ann Arbor und Dr. Andreas Fink von der Universität Köln. Dr. Mellor, Dr. Murphy und Dr. Emma Wittmann danke ich für die bereitwillige und prompte Beantwortung meiner e-mails stellvertretend für viele ihrer englischen und amerikanischen Kollegen.

## **Erklärung**

Hiermit versichere ich, dass ich diese Dissertation selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Die Stellen meiner Arbeit, die dem Wortlaut oder dem Sinn nach anderen Werken entnommen sind, habe ich in jedem Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht.

Sylvia Koslowsky

Köln, den 10.04.2002

## LEBENS LAUF

Geburt	23.03.1973 in Brühl (Rheinland)
Familienstand	verheiratet mit Hans Peter Koslowsky
Grundschule	1979 - 1983, katholische Grundschule am Mühlenbach in Brühl (Rhld.)
Gymnasium	1983 - 1992, Ville-Gymnasium in Erfstadt
Abitur	Juni 1992
Studium	Oktober 1992 bis 1998 an der veterinärmedizinischen Fakultät der Justus-Liebig-Universität in Gießen
Abschluss	Staatsexamen August 1998
Berufliche Tätigkeit	März 1999 bis September 2000 Assistentin in einer Tierärztlichen Klinik für Pferde und Kleintiere in Wiesbaden